

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт наук о Земле  
Кафедра геологии месторождений полезных ископаемых

***БЕЛЯЕВ Никита Константинович***

**Выпускная квалификационная работа**

**Гидрогеологическое обоснование организации  
хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения  
КС «Славянская» (Кингисеппский район)**

Уровень образования: магистратура  
Направление: *05.04.01 «Геология»*  
Основная образовательная программа: *ВМ.5515.2017*  
Профиль: *«Минералогия и геолого-экономическая оценка  
месторождений полезных ископаемых»*

Научный руководитель  
Доцент кафедры гидрогеологии  
Института наук о Земле СПбГУ,  
к.г.-м.н. Е.П. Каюкова

Рецензент:  
Заведующий кафедрой  
гидрогеологии и инженерной  
геологии Санкт-Петербургского  
Горного университета  
к.г.-м.н., доцент Д.Л. Устюгов

Санкт-Петербург  
2020

<b>СПИСОК ПРИНЯТЫХ ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ.....</b>	<b>3</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ .....</b>	<b>7</b>
<b>ГЛАВА 2 ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ .....</b>	<b>11</b>
2.1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ .....	11
2.2. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ .....	16
<b>ГЛАВА 3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.....</b>	<b>22</b>
3.1. РЕКОГНОСЦИРОВОЧНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ УЧАСТКА РАБОТ.....	22
3.2. ПЛОЩАДНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	23
3.3. БУРОВЫЕ РАБОТЫ.....	37
3.4. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СКВАЖИНАХ (ГИС) .....	41
3.5. ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАБОТЫ.....	46
3.6. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	53
3.7. КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ.....	54
<b>ГЛАВА 4 ХАРАКТЕРИСТИКА КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД И САНИТАРНОЙ ОБСТАНОВКИ.....</b>	<b>55</b>
4.1. КАЧЕСТВО ПОДЗЕМНЫХ ВОД .....	55
4.2. САНИТАРНАЯ ОБСТАНОВКА УЧАСТКА РАБОТ.....	60
4.3. ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЦ ПОЯСОВ ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ НА УЧАСТКЕ БУДУЩЕГО ВОДОЗАБОРА .....	61
4.3.1. Обоснование зоны санитарной охраны .....	61
4.3.2. Основные мероприятия на территории ЗСО.....	63
<b>ГЛАВА 5 ПРИРОДНАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УЧАСТКА РАБОТ.....</b>	<b>65</b>
5.1. ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УЧАСТКА РАБОТ.....	65
5.2. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УЧАСТКА .....	67
<b>ГЛАВА 6 ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД .....</b>	<b>69</b>
6.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПРИНЦИПЫ ПОДСЧЁТА ЗАПАСОВ .....	69
6.2. ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЁТНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.....	70
<b>ГЛАВА 7 ПОДСЧЁТ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД .....</b>	<b>72</b>
7.1. ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД.....	72
7.2. КАТЕГОРИЗАЦИЯ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД .....	74
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>76</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>77</b>
<i>Приложение 1. Карта фактического материала геофизических работ.....</i>	<i>81</i>
<i>Приложение 2. Карта распределения сопротивлений межморенного горизонта.....</i>	<i>82</i>
<i>Приложение 3. Карта распределения мощности межморенного горизонта .....</i>	<i>83</i>
<i>Приложение 4. Псевдо и геоэлектрический разрезы по профилю 3.....</i>	<i>84</i>

## СПИСОК ПРИНЯТЫХ ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ

а.о.		Абсолютная отметка
ВГ		Водоносный горизонт
ВК		Водоносный комплекс
ВЭЗ		Вертикальное электрическое зондирование
г.		Город
ГИС		Геофизические исследования в скважинах
ЕСГ РФ		Единая система газоснабжения Российской Федерации
ЗСО		Зона санитарной охраны
КС		Компрессорная станция
л/с		Литры в секунду
м3/сут		Метры кубические в сутки
НТС		Научно-технический совет
ООО		Общество с ограниченной ответственностью
ОФР		Опытно-фильтрационные работы
ПАВ		Поверхностно-активные вещества
ПВ		Подземные воды
ПДК		Предельно-допустимая концентрация
ППЗ		Противопожарный запас
прил.		Приложение
рис.		Рисунок
с.		Село
СанПиН		Санитарные правила и нормы
скв.		Скважина
СНиП		Строительные нормы и правила
ТКЗ		Территориальная комиссия по запасам
ЦГиЭ		Центр гигиены и эпидемиологии

## ВВЕДЕНИЕ

Научное и практическое значение гидрогеологии чрезвычайно велико и разнообразно, так как трудно найти отрасль народного хозяйства, которая не была бы связана с подземными водами. Современная гидрогеология – комплексная наука, она включает теоретическую, региональную и прикладную гидрогеологию. Одной из основных задач прикладной гидрогеологии является изыскание источников и организация водоснабжения пресными подземными водами населённых пунктов, сельскохозяйственных объектов и промышленных предприятий (Михайлов, Бродская, 2003).

При столь огромной роли воды в биосфере, геологических процессах и жизни человека, важнейшим вопросом является рациональное использование природных недр.

Известно, что официальный защитный механизм для предотвращения истощения запасов подземных вод заключается в лицензировании их добычи в пределах величины эксплуатационных запасов, которая специально рассчитывается для каждого водозабора и ставится на государственный учёт в водохозяйственном балансе региона. Отсюда вытекает одно из важнейших направлений прикладной гидрогеологии, а именно оценка (подсчёт) эксплуатационных запасов подземных вод (Штенгелов, 2015).

Настоящий диплом написан по результатам двухгодичных работ по одноименному производственному объекту, целью которого являлась разведка и оценка возможности использования подземных вод для питьевого, хозяйственно-бытового и противопожарного водоснабжения КС «Славянская» и оценка запасов подземных вод перспективных водоносных подразделений по категории С1. Работы выполнялись коллективом гидрогеологов, геологов, инженеров-геологов и геофизиков в Санкт-Петербургском филиале ООО «Газпром проектирование» и автором настоящей дипломной работы. Основная задача проводимых геологоразведочных работ – обоснование строительства водозаборного сооружения и рациональных условий его дальнейшей эксплуатации.

**Актуальность.** Компрессорная станция (КС) «Славянская» является одной из семи новых компрессорных станций, запланированных к строительству с целью обеспечения подачи газа в газопровод «Северный поток-2», а также энергообеспечения перспективных потребителей Северо-Западного региона Российской Федерации (Рис.1).

КС «Славянская» является головной станцией морского газопровода «Северный поток-2» и предназначена для компримирования и транспортировки природного газа по двум трубам морского участка газопровода «Северный поток-2», прокладываемым по дну Балтийского моря до приёмного терминала на берегу Германии (Грайфсвальд).

Кроме строительства семи компрессорных станции (КС «Грязовецкая», КС «Шекснинская», КС «Бабаевская», КС «Пикалевская», КС «Волховская», КС «Дивенская», КС «Славянская»), предусматривается строительство более 800 км нового, современного магистрального газопровода, проходящего по территории Вологодской и Ленинградской областей.

Реализация проекта «Развитие газотранспортных мощностей ЕСГ Северо-Западного региона участок Грязовец – КС «Славянская» будет осуществляться с учётом положительного опыта, накопленного в ходе строительства и эксплуатации ныне действующего газопровода «Северный поток–1», для обеспечения подачи газа в который на территории РФ был построен Северо-Европейский газопровод 1 и 2 нитки, протяжённостью 917 км каждая. В этой системе компрессорная станция «Портовая» на берегу Финского залива в районе Выборга, подаёт газ в морской участок газопровода «Северный поток-1». Эта газотранспортная система вышла на проектную производительность и работает без отказов и нареканий. Проект «Северный поток–1» удостоился множества высоких оценок и наград в области безопасности, охраны труда и окружающей среды, а также открытого диалога и консультаций с общественностью.

В соответствии с теоретическим расчётом постоянная водопотребность объекта составляет 78,5 м<sup>3</sup>/сутки для питьевых и хозяйственно-бытовых целей и 2610 м<sup>3</sup> – для восполнения противопожарного запаса один раз в год в течение суток. Средневзвешенная по году водопотребность объекта в соответствии с Геологическим (техническим) заданием составляет 86 м<sup>3</sup>/сут.

Исходя из целей объекта и в рамках магистерской работы перед автором были поставлены следующие задачи:

1. Изучить геологическое строение и гидрогеологические условия района и участка проектных работ
2. Изучить фильтрационные параметры перспективных водоносных подразделений
3. Оценить качество подземных вод на соответствие их нормативным документам и правилам
4. Оценить запасы подземных вод и обоснование границы ЗСО
5. Изучить принцип категоризации запасов подземных вод на примере КС «Славянская»

Автор магистерской работы с 2016 года принимал участие во всех видах полевых и камеральных работах по данному объекту, в том числе в написании отдельных глав к окончательному отчёту для сдачи в Росгеолфонд и Заказчику. Ниже приведён личный вклад по каждому этапу работ:

1. Подготовительные работы и проектирование	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Работа с материалами предшественников (Госгеолкарта-200, гидрогеологические работы на смежных площадях)</li> <li>• На основании имеющихся геолого-гидрологических источников намечены глубины искомых горизонтов, проведён комплекс подготовительных работ, включающий работу с топокартами, построение ГТН и пр.</li> </ul>
2. Полевые работы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Комплекс площадных геофизических работ в объёме вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и сейсморазведки в модификации МОВ ОГТ</li> <li>• Постановка буровой установки на проектные точки,</li> <li>• Контроль проведения буровых работ согласно ГТН (на двух скважинах),</li> <li>• Составление полного пакета актов на скважины</li> <li>• Выполнение ГИС в стволе скважин, включающий электрокаротаж, гаммакаротаж и резистивиметрия</li> <li>• Участие в проведении опытно-фильтрационных работ на скважинах (откачки)</li> </ul>
3. Камеральные работы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обработка результатов геофизических работ ВЭЗ и МОВ ОГТ</li> <li>• Обработка данных каротажа, написание заключений в отчёт</li> <li>• Построение литологических колонок с учётом ГИС данных</li> <li>• Корреляция скважин с учётом данных ГИС</li> <li>• Подготовка полевой документации к окончательной сдаче</li> <li>• Подготовка отдельных глав в окончательный отчёт для сдачи Заказчику и в РГФ</li> </ul>

Геолого-технические разрезы скважин (раздел 3.3), каротажные диаграммы (раздел 3.4) и графика, представленная в приложениях, составлены лично автором. Приложение 1 наглядно демонстрирует объем выполненных полевых геофизических работ с непосредственным участием автора, а приложения 2 - 4 отражает массив обработанных геофизических данных.

## Глава 1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Объект водопотребления – КС «Славянская» расположен в северо-западной части Ленинградской области в пределах листа О-35-V Госгеолкарты 1:200 000. Участок недр имеет статус геологического отвода площадью 1,12 км<sup>2</sup>. Геологическим отводом называется участок недр, предоставляемый в соответствии с лицензией для геологического изучения без существенного нарушения целостности недр.

В административном отношении расположен на территории Северо-Западного Федерального округа Ленинградской области Кингисеппского района, в 30 км на северо-запад от административного центра – г. Кингисеппа (в 3 км на юго-восток от п. Большое Куземкино) (Рис.1.1 и 1.2).

Административным центром района является г. Кингисепп – крупный промышленный центр Ленинградской области. Здесь осуществляется производство фосфорных удобрений на базе расположенного близ города Кингисеппского месторождения фосфоритов, имеются крупные предприятия деревообрабатывающей, лёгкой, пищевой и металлообрабатывающей промышленности. Население города превышает 47 000 человек и имеет тенденцию к росту в связи с развитием промышленности на южном побережье Финского залива и строительством и функционированием крупного торгового морского порта в п. Усть-Луга.

Участок работ (КС «Славянская») расположен в северо-западной части Русской плиты в пределах Предглинтовой низменности. Особенности геоморфологии района определяются рельефом поверхности дочетвертичных пород и его расположением в зоне оледенений и Балтийского моря на северо-западе Восточно-Европейской равнины. Установленные абсолютные отметки поверхности в рассматриваемом районе колеблются от – 106 м (в устье р. Луга) до 122 м (за пределами рассматриваемого района, в верховьях р. Сумы).



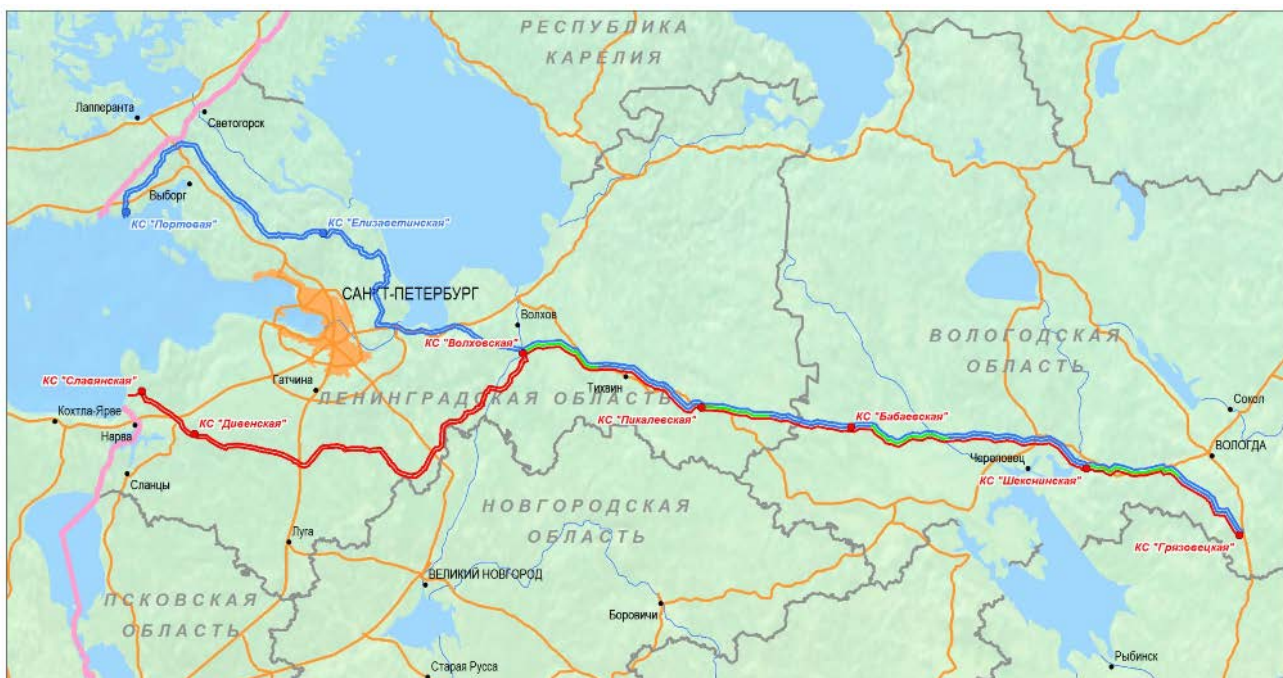


Рис. 1.1. Схема газопроводов ЕСГ РФ Северо-западного региона, участка Грязовец – КС «Славянская» (проектируемые магистральный газопровод и компрессорные станции показаны красным цветом)



Рис. 1.2. Обзорная карта района работ



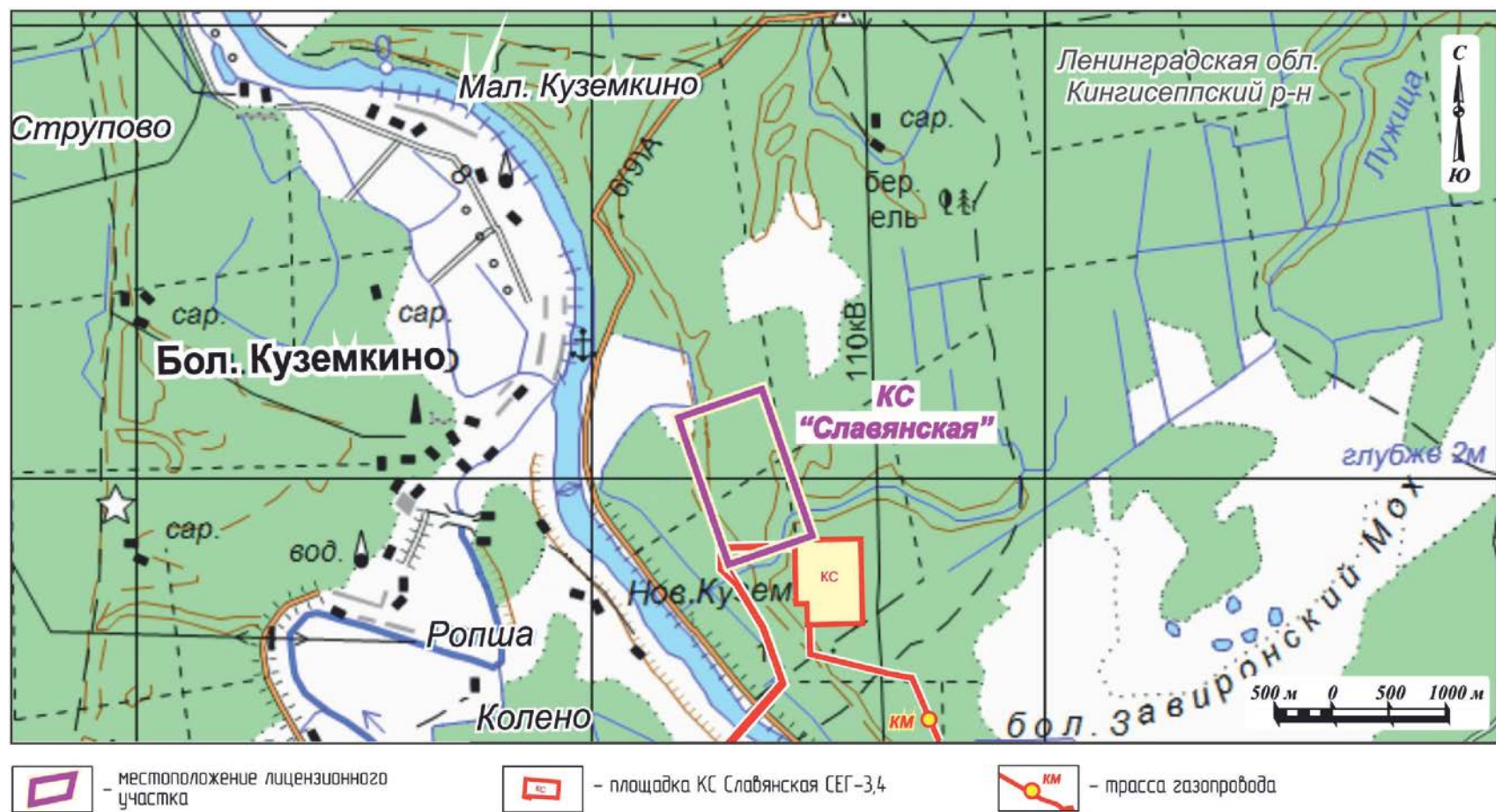


Рис. 1.3. Обзорная схема участка

Минимальные абсолютные высоты приурочены к днищам древних доледниковых речных долин, максимальные – к возвышенным участкам на ордовикском плато. Основным морфологическим элементом поверхности является Венд-Кембрийская или Предглинтовая низина, представляющая собой равнину (абсолютные отметки ее поверхности колеблются от -60 м до 30 м), полого-погружающуюся на север, осложнённую древними долинами и возвышающимися эрозионными останцами (Кургальский, Куровицкий).

Район характеризуется разветвлённой речной сетью и широким развитием озёр (крупнейшие – оз. Хаболовское, Судацье) и болот (Завиронский Мох, Большой Мох, Куровицкое). Территория работ залесена. Гидрографическая сеть территории относится к бассейну реки Луги. Глубина реки составляет 2,5-3 м, ширина 10-20 м. Абсолютные отметки уреза воды реки в пределах района изменяются от 0,2 до 0,9 м. Питание реки атмосферно-грунтовое с преобладанием атмосферного. По территории протекает ее правый приток р. Черная и мелкие ручьи и левые притоки – р. Россонь и Мертвица.

Климат района переходный от морского к умеренно-континентальному со сравнительно тёплой зимой и коротким прохладным летом.

Воздушные массы часто сменяются, что связано с частой циклонической деятельностью. Следствием этого является характерная для Ленинградской области неустойчивая погода.

По данным Северо-Западного УГМС среднегодовая температура воздуха  $+4,1^{\circ}\text{C}$ . Самый тёплый месяц – июль  $+17,4^{\circ}\text{C}$ , самый холодный – февраль – минус  $8,0^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовое количество атмосферных осадков составляет 517-649 мм. Минимум осадков наблюдается зимой, максимум – в августе-сентябре.

Годовая величина испарения 450 мм, то есть ниже величины осадков, что определяет расположение территории в зоне избыточного увлажнения. Средняя мощность снежного покрова 0,30 м, в конце зимы редко достигает 0,5 - 0,6 м. Максимальная глубина промерзания почвы – 60 - 120 см, минимальная – 10-20 см.

## Глава 2 ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Основными источниками сведений о геологическом строении и гидрогеологических условиях территории являются геолого-съёмочные работы масштаба 1:200000 по листу О-35-V, разведочно-эксплуатационные на воду скважины, данные мониторинга подземных вод, региональные работы, материалы по КЧО РФ 1:2 500 000. Кроме того, использованы данные, полученные организацией в 2016 году, по результатам подсчёта запасов вод на категорию С1 на смежной территории.

### 2.1. Геологическое строение

Как сказано выше, территория работ принадлежит Предглинтовой низменности, где, как известно, распространены осадочные отложения венда и кембрия, перекрытые чехлом четвертичных отложений. Венд и кембрий залегает на неровной размытой поверхности кристаллических пород фундамента и распространён в Предглинтовой низменности повсеместно (Объяснительная ..., 1980).

Южнее участка работ в районе г. Кингисеппа платформенный разрез наращивается ордовикскими отложениями, там проходит северная граница распространения ордовика, ограничивающаяся линией Балтийско-Ладожского глинта (Объяснительная ..., 2010).

В геолого-структурном отношении рассматриваемый район расположен на северо-западном крыле Московской синеклизы, характеризующимся развитием полого погружающейся на юго-восток осадочной толщи вендских и палеозойских отложений. Основанием осадочному чехлу служит фундамент архей-протерозойских кристаллических пород.

В строении осадочной толщи рассматриваемой территории принимают участие вендские, кембрийские и четвертичные образования, краткая характеристика которых (до интересующей нас глубины 150 метров) дана ниже.

*Верхний протерозой*

*Вендская система*

*Верхний отдел*

Вендские образования распространены повсеместно и по структурно-фациальному районированию принадлежат Ладожской моноклинали. Они представлены терригенными осадками валдайского комплекса. На акватории Финского залива отложения выходят на

дочетвертичную поверхность и размыты в верховьях палеодолины неоген-четвертичного возраста. На суше они погружаются под палеозойские образования, обнажаясь в глубоких эрозионных врезках.

#### *Валдайский комплекс*

Валдайский комплекс представлен снизу вверх старорусской свитой, отвечающей редкинскому горизонту региональных стратиграфических подразделений, и котлинской серией. Котлинская серия отвечает одноименному горизонту и объединяет василеостровскую и воронковскую свиты.

#### *Редкинский горизонт*

#### *Старорусская свита*

Старорусская свита подразделяется на нижнюю и верхнюю подсвиты. На дочетвертичную поверхность она выходит в эрозионных врезках на акватории Финского залива, где выделена по геофизической информации с достаточной степенью условности. Свита сложена песчано-глинистыми образованиями, имеет линзовидное строение и мощность от 14 м с тенденцией к возрастанию на восток и юго-восток.

*Нижняя подсвита старорусской свиты ( $V_2 sr_1$ )* залегает на породах кристаллического фундамента и согласно перекрыта верхней подсвитой. Она сложена преимущественно песками и песчаниками нередко гравелитистыми и содержащими редкие прослои алевролитов. В ее основании иногда залегают линзы мощностью 1-6 м песчаников гравелитистых и пачек неравномерного или тонкого переслаивания песков и песчаников с алевролитами, алевролитами и глинами. В верхней части подсвиты отмечаются слои алевролитов и уплотненных глин мощностью от 0,3 м до 1,5 м. Мощность подсвиты варьирует от 4 м до 34 м.

*Верхняя подсвита старорусской свиты ( $V_2 sr_2$ )* залегает согласно на нижней подсвите и несогласно перекрывается нижневасилеостровскими отложениями. Она сложена сильно уплотненными глинами, содержащими в различных количествах прослои аргиллитов, алевролитов, песчаников и гравелитов. На отдельных участках разрез представлен толщей частого переслаивания с мощностью отдельных слоев от 0,3 м до 8,5 м. В основании подсвиты залегают линзы песчаника, содержащего гравийные зерна, в кровле отмечаются глины с охристо-жёлтой окраской ожелезнения и включения песчаных и гравийных зёрен. Мощность отложений изменяется в широких пределах от 5 м до 27 м. Глины имеют серую и темно-серую, иногда пёструю с бурыми и жёлто-коричневыми пятнами окраску.

#### *Котлинский горизонт*

#### *Котлинская серия*

### *Василеостровская свита ( $V_2vo$ )*

Василеостровская свита подразделяется на нижнюю и верхнюю подсвиты, выходящие на дочетвертичную поверхность в пределах акватории и северной части суши. Она имеет линзовидное строение и общую мощность, меняющуюся от 92 м до 122 м.

*Нижняя подсвита василеостровской свиты ( $V_2vo_1$ )* залегает с размывом на верхней подсвите старорусской свиты и перекрывается согласно верхневасилеостровской подсвитой. Она сложена песками и песчаниками, линзовидно переслаивающимися с алевролитами и глинами мощностью от первых миллиметров до первых метров. Соотношение, количество и мощность слоёв резко меняются по площади. На отдельных участках разрезы характеризуются преобладанием алевролитов и глин над песками вплоть до полного выклинивания последних. В основании подсвиты нередко залегают песчаники средне-крупнозернистые, иногда гравелитистые, а также алевролиты линзовидно-, горизонтально- и наклоннослоистые. В верхней части подсвиты развиты алевролиты и глины, переслаивающиеся с песчаниками и тёмные ляминаритовые пленки, иногда пиритизированные. Мощность подсвиты меняется от 12-20 м до 30-41 м. Пески и песчаники имеют светло-серую с зеленоватым оттенком иногда пятнистую окраску, массивную, реже слоистую текстуру и преимущественно мелкозернистое строение с примесью глинистых частиц. Алевролиты и глины, часто находящиеся в переслаивании, светло-серые и зеленовато-серые тонкогоризонтальнослоистые, реже неравномернослоистые и массивные, часто с присыпками слюды по напластованию.

*Верхняя подсвита василеостровской свиты ( $V_2vo_2$ )* согласно залегает на нижней подсвите и перекрывается согласно воронковской свитой и несогласно – ломоносовской. Границы подсвиты отчетливые. Она сложена однородной толщей глин с редкими прослоями песчаников и алевролитов и с частыми прослойками и желваками сидерита мощностью до 4 см и ляминаритовыми пленками по напластованию. В верхних частях подсвиты развиты прослои алевролитов мощностью от 0,03 м до 0,7 м. Мощность подсвиты варьирует от 80 м до 91 м. Глины уплотнённые зеленовато-серые, тонкогоризонтальнослоистые, монтмориллонит-гидрослюдистые.

### *Воронковская свита ( $V_2vr$ )*

Воронковская свита выходит на дочетвертичную поверхность узкой полосой, окаймляющей с севера поле распространения кембрийских отложений. Залегает согласно на верхней подсвите василеостровской свиты и перекрывается с размывом ломоносовской свитой. Ее границы достаточно четкие. Свита представлена глинами пестроцветными зеленовато- и буровато-серыми тонкослоистыми, переслаивающимися с алевролитами также пестроцветными, в различной степени глинистыми и содержащими песчаные и гравийные

зерна. Мощность прослоев от 0,01 м до 0,15 м. В верхней части свиты развита пачка песков белых и желтовато-светло-серых мелкозернистых кварцевых и алевритов мощностью 2-4 м. Мощность свиты убывает с запада на восток от 15 м до 8 м, полностью выклиниваясь на юго-востоке в районе п. Веймарн.

#### *Балтийская серия*

В балтийскую серию включены отложения верхней части верхнего венда и нижней части нижнего кембрия.

#### *Верхний венд – нижний кембрий*

Отложения, переходные от верхнего венда к нижнему кембрию, представляют базальную часть разреза балтийской серии. Они объединены в ломоносовскую свиту, отвечающую ровенскому и низам лонтоваского горизонта.

#### *Ровенский-лонтоваский горизонт*

#### *Ломоносовская свита ( $V_2$ - $C_{1lm}$ )*

Ломоносовская свита распространена на суше, выходя на дочетвертичную поверхность полосой шириной до 1 км вдоль побережья Финского залива. Она залегает с размывом на воронковской свите и на верхней подсвите василеостровской свиты и согласно перекрывается сиверской свитой. Нижняя граница резкая и проводится по подошве разнозернистых песчаников с гравийными зёрнами. Верхняя граница нечеткая, с постепенным переходом к вышележащим породам. Свита представлена неравномерно переслаивающимися песчаниками, алевролитами глинистыми и глинами. Мощность отдельных слоёв 0,1-2 м с преобладанием песчаников в нижней части разреза. Мощность свиты 4-5 м. Песчаники светло-серые, мелкозернистые, в основании – крупнозернистые с гравийными зёрнами, кварцевые.

#### *Кембрийская система*

#### *Нижний отдел*

#### *Томмотский ярус*

#### *Лонтоваский горизонт*

Отложения лонтоваского горизонта представлены верхней частью балтийской серии, включающей сиверскую свиту.

#### *Сиверская свита ( $C_{1sv}$ )*

Сиверская свита в пределах Предглинтовой низменности выходит на дочетвертичную поверхность широкой полосой шириной 12-25 км, погружаясь к югу. В районе пп. Котлы и 1-ое Мая породы свиты «выдавлены» на дочетвертичную поверхность в поле развития ордовикских отложений. Нижняя граница с подстилающей ломоносовской свитой неотчетливая, но достаточно уверенно прослеживается на каротажных диаграммах. Верхняя

граница с перекрывающей люкатиской свитой резкая со следами размыва. Свита сложена относительно однородной толщей глин голубовато-зеленовато-серой окраски, часто алевритистых и неравномернослоистых, гидрослюдистых с пиритизированными следами ползания червеобразных. Внизу в глинах встречаются прослойки мощностью 0,01-0,03 м песчаников мелкозернистых и алевролитов глинистых. Вверху глины часто имеют пеструю окраску за счет пятен и разводов коричневого, фиолетового и сиреневого цветов, иногда каолинизированы. Мощность свиты составляет 90-112 м.

#### *Четвертичная система*

Образования четвертичной системы распространены повсеместно. Они перекрывают венд-палеозойские породы покровом неравномерной мощности от 20-40 м до 120-150 м в пределах Предглинтовой низменности и Финского залива. На рассматриваемой территории установлены образования среднего и верхнего звеньев неоплейстоцена, всех частей голоцена и донные отложения дна акватории Финского залива (Объяснительная ..., 1980).

Известно, что следы древних оледенений обычно уничтожаются более поздними ледниками и сохраняются лишь в глубоко врезанных речных долинах, а также за пределами областей новых продвижений ледника, поэтому так трудно показать остатки ледникового события, более слабого в сравнении с последующими, например ранневалдайского (подпорожского) на северо-западе Европейской России. Зато последняя, осташковская или поздневалдайская морена, сохранилась почти на всей площади вплоть до Валдайской возвышенности на юге (Бискэ, 2019).

В подавляющем большинстве это среднечетвертичные и голоценовые отложения различного генезиса, а также подледниковые (флювиогляциальные и гляциолимниевые осадки времени наступления ледника, представленные преимущественно песками разномерными с прослоями гравия, реже супесями, редко переслаиванием суглинков и глин с единичным гравием кристаллических пород) и надледниковые (флювиогляциальные и гляциолимниевые осадки времени отступления ледника, представленные преимущественно песками разномерными, иногда глинистыми и ленточными глинами).

Строение разреза четвертичных образований характеризуется исключительной сложностью и пространственной прерывистостью. Следует отметить, что вплоть по настоящее время среди исследователей существуют разногласия по строению четвертичной толщи, дробности её расчленения, границах распространения оледенений и их стадий, выделении межстадиальных образований. Значительные разногласия остаются также в области палеогеографических реконструкций (Объяснительная ..., 2010).



## 2.2. Гидрогеологические условия

Район принадлежит Северо-Западной части Ленинградского артезианского бассейна III-го порядка, являющегося в свою очередь частью Московского артезианского бассейна II-го порядка, располагающегося в северо-западной части Русского сложного артезианского бассейна (структура I порядка). Региональным базисом дренирования является Финский залив, а областью питания водоносных подразделений – Ижорская возвышенность с мощной зоной аэрации и активным карстом.

Влажный климат и особенности геологического строения территории определили высокую степень обводнённости пород и сложный гидрогеологический разрез с чередованием водопроницаемых и слабоводопроницаемых отложений, закономерно распределённых по площади (Рис. 2.1 и 2.2).

Гидрохимическая зональность подземных вод обусловлена возрастанием их минерализации на глубину и юго-восток в соответствии с погружением стратифицированных толщ (разрез по линии В-Г на Рис. 2.1). В связи с наращиванием в том же направлении мощности разреза происходит увеличение мощности зоны пресных вод (до 230 м и более на Ижорской возвышенности). Нижняя граница их распространения находится на глубинах от 30-50 м на побережье Финского залива до более 200 м на Ижорской возвышенности. Пресные воды с минерализацией от сотых долей до  $1 \text{ г/дм}^3$  приурочены к четвертичным, кембрийским и верхам вендских отложений (в рассматриваемом районе). Солоноватые воды имеют минерализацию от  $1 \text{ г/дм}^3$  до  $3,7 \text{ г/дм}^3$ . В результате интенсивной эксплуатации водоносных горизонтов, в том числе на сопредельных площадях, сформированы обширные пьезометрические депрессии в дочетвертичных водоносных горизонтах и вендском водоносном комплексе. Например, динамика колебания пьезометрического уровня вендского (нижнекотлинского) водоносного комплекса (по годам), с периодическим образованием воронок депрессии, интересно описана для г. Санкт-Петербурга (Дашко и др., 2011).

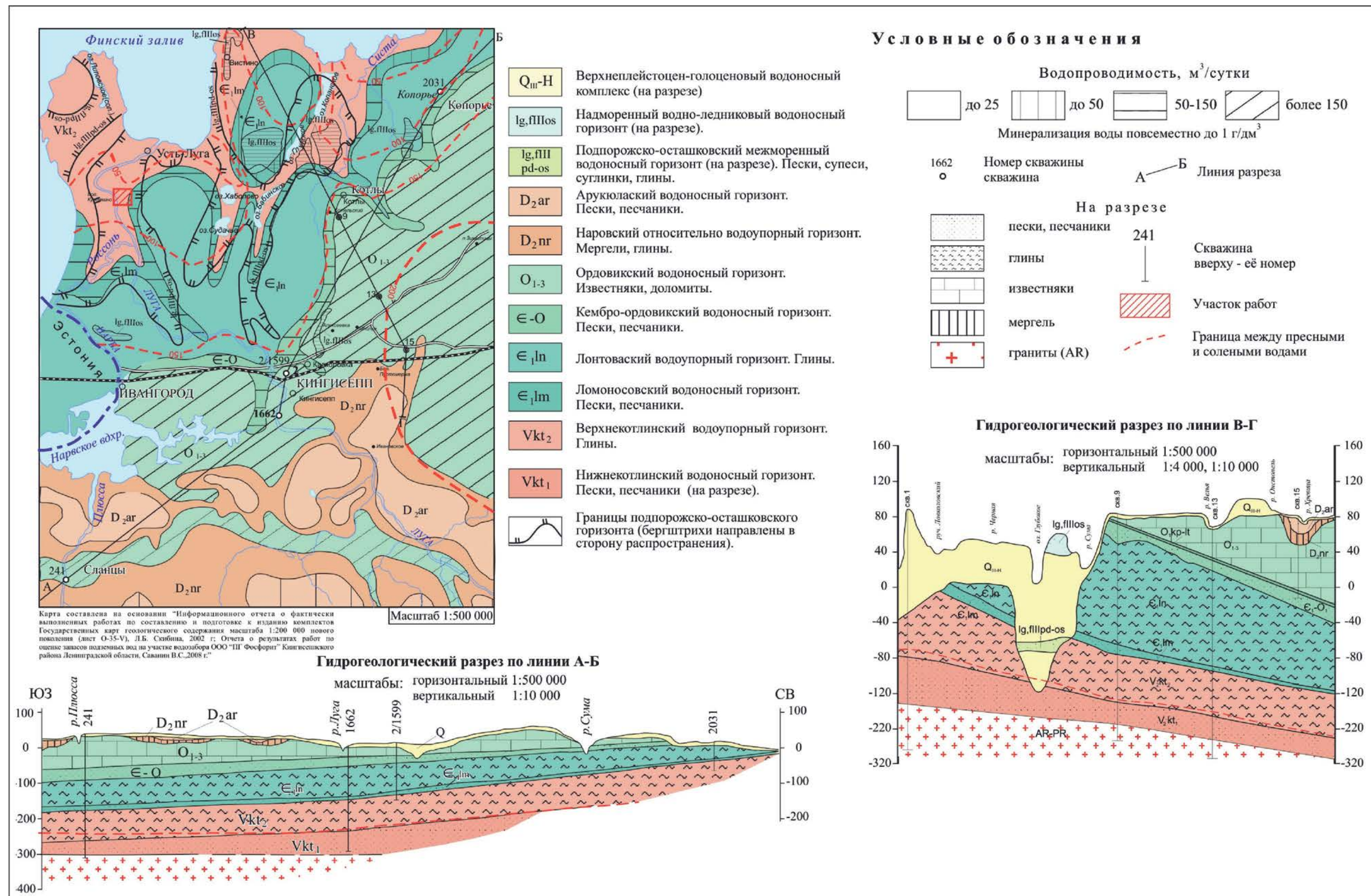


Рис. 2.1. Гидрогеологическая карта дочетвертичных отложений района работ (Лист 1). Переработанный и дополненный рисунок из (Скибина и др., 2002).



Рис. 2.2. Гидрогеологическая карта четвертичных отложений района работ (Лист 2). Переработанный и дополненный рисунок из (Пугач и др., 2016).



В осадочной толще, в пределах района работ, выделяются следующие гидрогеологические подразделения (сверху-вниз):

- Верхнеплейстоцен (осташковский)-голоценовый надморенный водоносный комплекс ( $Q_{III-H}$ );
- Подпорожско-осташковский водоносный горизонт ( $lg, f_{IIIpd-os}$ );
- Лонтоваский водоупорный горизонт ( $E_1ln$ );
- Воронковско-ломоносовский водоносный горизонт ( $V_{2vr}-E_1lm$ );
- Верхнекотлинский водоупорный горизонт ( $V_{2kt_2}$ );
- Нижнекотлинский (вендский) водоносный горизонт ( $V_{2kt_1}$ ).

*Верхнелепестовый (осташковский)-голоценовый надморенный водоносный комплекс ( $Q_{III-H}$ )*

Объединяет водоносные техногенные, аллювиальные, палеостриевые, гляциолимниевые и мариниевые, флювиогляциальные отложения, а также безводные эолиевые и водоупорные лимниевые отложения. Он развит на Предглинтовой и Лужской низинах, сложен песками, супесями, суглинками, глинами, редко – торфом. Воды комплекса относятся к числу безнапорных, залегают на глубинах до 5,0 м на низменных и до 13,0 м на возвышенных участках. Слабый напор воды приобретают в песчаных толщах, залегающих среди глинистых отложений. Удельный дебит колодцев и скважин составляет обычно 0,2-0,3 л/с. Дебиты родников не превышают 0,2 л/с. Воды повсеместно пресные с минерализацией до 0,5 г/дм<sup>3</sup> хлоридно-гидрокарбонатные магниево-кальциевые, по побережью Финского залива в грунтовых водах наряду с гидрокарбонат-ионом в сопоставимых количествах нередко присутствует ионы хлора или сульфата, отмечаются воды смешанного по катионам и анионам состава. Водоносный комплекс в целом служит источником индивидуального водоснабжения.

*Подпорожско-осташковский межморенный водно-ледниковый водоносный горизонт ( $lg, f_{IIIpd-os}$ )*

Включает отложения, залегающие между осташковской и подпорожской моренами. Он распространён в пределах Предглинтовой низменности, где приурочен к палеодолинам, сложен песками с прослоями гравия и гальки, алевролитами, супесями, суглинками и глинами. Средняя мощность горизонта составляет 15-18 м, глубина залегания – 20-90 м, с абсолютными отметками –65 м до 17 м. Величина напора составляет 6,5-27 м, в среднем 15-25 м. Уровень воды устанавливается на глубине 3-8 м. Водообильность невысокая. Удельный дебит скважин составляет 0,003 до 2 л/сек, обычно 0,2-0,8 л/сек., коэффициент фильтрации – 0,01-0,13 м/сут. Химический состав и степень минерализации воды непостоянны. Так, в

д.Купля вода имеет сульфатно-гидрокарбонатный состав с минерализацией  $0,08 \text{ г/дм}^3$ , в д.Хаболово - гидрокарбонатно-хлоридный с минерализацией  $1,4 \text{ г/дм}^3$ , в п. Усть-Луга – хлоридный с минерализацией  $3,1 \text{ г/дм}^3$ . Вода горизонта используется для технического водоснабжения п. Усть-Луга.

*Лонтоваский водоупорный горизонт ( $C_1 \text{ ln}$ )*

В пределах Предглинтовой низменности залегает под четвертичными отложениями на глубине от нескольких метров до 30-60 м и служит водоупорной кровлей ломоносовского водоносного горизонта. Южнее и юго-восточнее он погружается под водоносные породы кембрия и ордовика и служит для них водоупорным ложем. Глубина залегания горизонта возрастает на юг и юго-восток от 4,0 до 116,0 м, в абсолютных отметках – от 82 м до –36 м. Он сложен глинами с прослоями песчаников и алевролитов и имеет мощность в пределах низменности 18-70 м. На участке работ отсутствует.

*Воронковско-ломоносовский водоносный горизонт ( $Vvr-C_1 \text{ lm}$ )*

Отсутствует в прибрежной полосе Финского залива и в пределах участка работ. Он перекрыт толщей лонтоваских глин или четвертичными отложениями, повсеместно подстилается василеостровскими глинами, и представлен неравномерно переслаивающимися песчаниками, песками, алевролитами и глинами мощностью 12-20 м. Глубина залегания возрастает к югу от 28 м до 134 м в пределах Предглинтовой низменности в зонах его распространения. Абсолютные отметки кровли уменьшаются в том же направлении от 0 до –135 м. Воды порово-трещинно-пластовые, напорные. Водообильность невысокая. Удельные дебиты чаще составляют  $0,1-0,3 \text{ л/с}$ , увеличиваясь в районе г.Кингисепп до  $0,5-0,6 \text{ л/с}$ . Коэффициент фильтрации пород меняется от 0,3 до 4,4 м/сут, чаще составляя  $1,3-3,0 \text{ м/сут}$ . Воды пресные с минерализацией от 0,2 до  $1,0 \text{ г/дм}^3$ . Они имеют гидрокарбонатно-хлоридный натриевый состав с минерализацией  $0,5-0,8 \text{ г/дм}^3$ . Повышенная минерализация до  $1 \text{ г/дм}^3$  отмечена в скважине д. Куровицы, что, возможно, связано с разгрузкой нижележащих соленоватых вод вендского комплекса по зоне разрывного нарушения. Воды горизонта используются для децентрализованного и централизованного водоснабжения г. Кингисепп, п.п. Котлы, Касколовка, Котельский, Б. и М. Кузёмкино и других. В пределах участка работ отсутствует.

*Котлинский водоупорный горизонт ( $V_2 \text{ kt}_2$ )*

Отсутствует лишь в долине оз. Копанское. Глубина залегания меняется от первых метров до 140 м вдоль побережья Финского залива, где он залегает под четвертичными отложениями, и от 145 м до 230 м на остальной территории. Абсолютные отметки кровли

уменьшаются на юг от –10 до –140 м. Мощность горизонта, сложенного, в основном, глинами с редкими прослойками алевролитов, составляет 80-91 м.

*Вендский (нижнекотлинский) водоносный комплекс ( $V_2kt_1$ )*

Залегают на размытой поверхности кристаллического фундамента. В его состав входят нижневасилеостровские и старорусские отложения, представленные песками и песчаниками, алевролитами и глинами. Максимальная мощность комплекса достигает 82 м, в среднем изменяясь от 40 до 60 м. Глубина залегания возрастает с севера на юг от 100 м до 330 м (за пределами рассматриваемого района), абсолютные отметки уменьшаются от –75 м до –245 м. Воды порово-пластовые, напорные. По данным стационарных режимных наблюдений, пьезометрические уровни в районе п. Котлы составляют 21,3 м (абсолютные отметки 7,3 м), в п. Усть-Луга на 0,9 м (абсолютные отметки 1,9 м). Сформировавшаяся пьезометрическая депрессия охватывает всю рассматриваемую территорию. Величина напора составляет 45-158 м, глубина залегания уровня – 0,5-75,0 м при абсолютных отметках от 66 до –117 м. Водообильность характеризуется удельным дебитом скважин от 0,1 до 4,0 л/с (чаще 0,1-0,2 л/с), коэффициентом фильтрации – 0,3-6,5 м/сут (чаще 2,0-3,0 м/сут). Воды повсеместно солоноватые с минерализацией 1,5-3,7 г/дм<sup>3</sup> с хлоридно-натриевым составом. Они используются, главным образом, для технических нужд.

## **Глава 3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

Виды и последовательность выполнения гидрогеологических работ при изучении подземных вод определяется в зависимости от специфики решаемых задач. Практически во всех случаях, изучение подземных вод включает такие виды исследований, как: сбор, обобщение и целенаправленный анализ материалов предыдущих исследований; рекогносцировочные гидрогеологические исследования; гидрологические съёмки и картирование; буровые и горные работы; полевые опытно-фильтрационные работы; моделирование фильтрации подземных вод; лабораторные работы; наблюдения за режимом подземных вод (Михайлов, Бродская, 2003).

По результатам сбора и анализа материалов предшественников была получена общая гидрогеологическая характеристика района, написана глава стратиграфия.

### **3.1. Рекогносцировочное обследование участка работ**

Рекогносцировочное обследование участка выполнялось с целью определения условий проведения работ, проходимости территории, уточнения путей подъезда к площадке намечаемого проектного водозабора, оценки общего санитарного состояния территории, выявления водопроявлений, потенциально опасных источников загрязнения подземных вод, выявления и обследования действующих водозаборных скважин.

Обследование осуществлялось путём прохождения рекогносцировочных маршрутов и заездов на автотранспорте по существующим дорогам (Рис. 3.1). В ходе обследования проводилась фиксация естественных обнажений, изучалось состояние водотоков, ландшафт.

Поверхность площадки и прилегающей территории представляет собой относительно пологую равнину. Абсолютные отметки рельефа варьируют от 14 до 36 метров, плавно повышаясь с северо-запада от р. Луга на восток. Западная часть лицензионного участка осложнена оврагами.

В северной части участка, с запада на восток проходит высоковольтная линия электропередачи (ВЛ). Западнее, на удалении 1,0 км от участка проходит автодорога вдоль правого берега р. Луга. Вдоль дороги неширокой полосой отмечается средняя и высокая лесная растительность. В восточной части участка работ существует широкая сеть мелиоративных канав. В юго-восточной части лицензионного участка протекает ручей Мельничный. Вода в ручье характеризуется высокой степенью ожелезнения. Питание ручья осуществляется из большого болотного массива, расположенного юго-восточнее. Участок намечаемого проектного водозабора расположен в пределах лесного массива.



По результатам рекогносцировочного обследования выявлена изменчивость литологического состава покровных четвертичных отложений. В пределах лицензионного участка с поверхности они представлены, преимущественно, переслаиванием песков, супесей и суглинков.

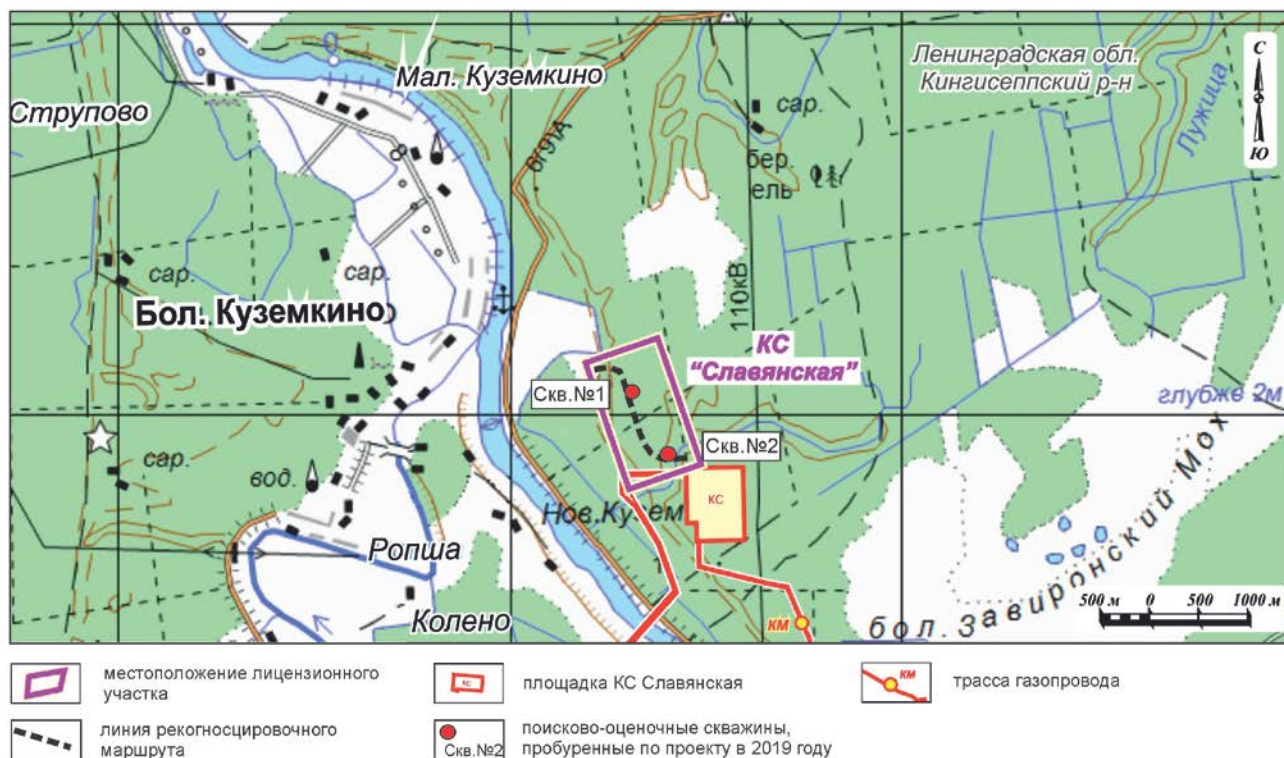


Рис. 3.1. Карта фактического материала

Действующих водозаборов и несанкционированных скважин обнаружено не было.

По данным обследования установлено, что санитарно-экологическая обстановка в пределах площадки работ и на прилегающей территории, в целом, благоприятная. На большей части обследованной территории она соответствует естественному состоянию природной среды. Прочие потенциальные источники загрязнения подземных вод на участке не выявлены. Потенциальные источники загрязнения подземных вод, запрещённые к размещению в пределах ЗСО водозаборных сооружений, на участке также не обнаружены. Объем работ обследования составил порядка 1,5 км<sup>2</sup>.

### 3.2. Площадные геофизические исследования

Для обеспечения более успешного решения поставленных задач и повышения геологической и экономической эффективности основных видов гидрологических исследований в комплексе с ними часто применяются различные виды геофизических исследований, как региональных (гравиразведка, магниторазведка, сейсморазведка, электроразведка), так и локальных (каротажные исследования в скважинах) (Михайлов, Бродская, 2003).

Комплексные геофизические работы выполнялись с целью поиска подземных вод для водоснабжения объекта КС «Славянская», а также уточнения геологического строения массива горных пород, определения глубины залегания подземных вод, водоупоров, мощности водоносных горизонтов и выделения в плане перспективных мест для заложения скважин на воду.

По предварительной гидрогеологической оценке территории и в соответствии с условиями пользования недрами перспективными для водоснабжения КС «Славянская» являются межморенный водоносный горизонт, залегающий на глубине до 64 м, и нижнекотлинский водоносный горизонт, кровля которого залегает на глубине порядка 120 м.

При данных условиях, на основании сформированной априорной физико-геологической модели исследуемой территории, в пределах лицензионного участка был поставлен комплекс геофизических исследований включающий методы вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и сейсморазведки в модификации МОВ ОГТ.

Работы выполнялись в два этапа.

На первом этапе проводились электроразведочные работы методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) по рабочим профилям с целью получения общих сведений о геоэлектрической характеристике объекта работ.

Комплексирование электроразведочного метода ВЭЗ с сейсморазведочным методом (МОВ ОГТ) выполнялось с целью корреляции между данными разной физической природы (второй этап).

Цель работ второго этапа заключалась в получении детальных сведений о геологическом строении; изменение мощности перспективных водоносных горизонтов, водоупоров, их целостности, определение в плане перспективных мест для заложения скважин на воду.

При производстве работ было предусмотрено выполнение параметрических измерений на некоторых скважинах, пробуренных на сопредельной территории. Впоследствии, параметры эквивалентности по параметрическим измерениям корреляционно увязывались с геолого-гидрологическими свойствами, распространяя полученные связи на рядовые точки ВЭЗ.

Измерения осуществлялись геофизическими приборами, прошедшими метрологическое освидетельствование (калибровку).

Привязка физических точек и наблюдений осуществлялась при помощи спутникового навигатора GarminGPSMAP 60CSx.

*Метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ)*

Основная площадная поисково-разведочная геофизическая съёмка методом ВЭЗ, проводилась по заранее намеченным профилям. Масштаб принимался равным 1:10 000 при шаге по профилю равном 100 м и таким же расстоянием между. При таком шаге наблюдений, в пределах участка работ, объем электроразведочных измерений составил 165 ф.т (Прил.1). Такая сеть наблюдений позволила получить достоверные характеристики геоэлектрического разреза, проследить закономерности изменения мощности межморенного водоносного горизонта, определить характер залегания кровли водоносного горизонта.

При выполнении электроразведочных работ методом ВЭЗ использовалась симметричная четырехэлектродная установка Шлюмберже, смотри схему на Рис. 3.2.



Рис. 3.2. Схема рабочей установки ВЭЗ

В среднем глубина исследований методом ВЭЗ равна  $1/3 - 1/10$  от разностей АВ и зависит от соотношения удельных сопротивлений слоёв в разрезе, экранирующих горизонтов. Поскольку средняя глубина кровли искомого нижнекотлинского водоносного горизонта составляет 120 м., то глубина исследований выбиралась порядка 150 м. Следовательно, максимальная длина питающей линии принималась равной  $120 \cdot 6 = 720$  м. Учитывая принятый логарифмический масштаб графиков кажущего сопротивления с модулем 6,25 см, в котором разносы увеличивают в геометрической прогрессии со знаменателем, примерно равным  $\sqrt{2}$ . Таким образом, длина питающей линии увеличивалась до 750 м.

Измеряемая разность потенциалов при использовании аппаратуры не должна быть меньше 0,1 – 0,5 мВ. Выполнение этого условия обеспечивалось переходом от меньших приёмных линий к большим в соответствии с рекомендуемыми схемами выполнения зондирований. Следовательно, руководствуясь прил. 26 табл. 2 «Инструкция по электроразведке» технология измерения ВЭЗ выполнялась с четырьмя приёмными линиями.

**Таблица 3.1**

Разносы приёмных и питающих электродов

AB/2, м	3,0	4,5	6,0	15,0	15,0	15,0	25,0	25,0	40,0	65,0	65,0	100,0	100,0	150,0	225,0	325
MN/2, м	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	5,0	1,0	5,0	5,0	5,0	20,0	5,0	20,0	20,0	35,0	35,0

Использована электроразведочная аппаратура «ERA-MAX» (ГЕНЕРАТОР «ERA-MAX»-LHF», ИЗМЕРИТЕЛЬ «ERA-MAX») производства НПП «ЭРА» (Рис. 3.3 и 3.4).



Порядок контроля над качеством электроразведочных работ осуществлялось при помощи контрольных измерений, объем которых составил 5% (9 ф.т.) от общего количества физических точек выполненных работ. Результаты таких измерений явились объективным материалом, по которому оценивалось качество и точность работ.



Рис. 3.3. Электроразведочная аппаратура «ERA-MAX» (ГЕНЕРАТОР «ERA-MAX»-LHF», ИЗМЕРИТЕЛЬ «ERA-MAX») производства НПП «ЭРА»



Рис. 3.4. В процессе поисково-разведочных геофизических работ методом ВЭЗ  
*Сейсморазведка методом отражённых волн общей глубинной точки (МОВ ОГТ)*



Полевые сейсмические наблюдения ставились по методике ОГТ. Система наблюдений – центральная, без выноса. Шаг СП –2,5 м, шаг ПВ –5 м. Использовалась 48-ми канальная расстановка из наземных сейсмоприемников SGD-AD собственной частотой 10 Гц. Для увеличения кратности перекрытия по ОГТ в местах соединения расстановок, дополнительно отстреливались 12 точек по фланговой системе наблюдения с переменным выносом от 2,5 до 57,5 м. Таким образом, кратность перекрытия по профилю, не считая краев профиля, менялось от 12 до 24 из-за низкой относительной интенсивности целевой волны в породах, слагающих участок работ. Лини профилей вынесены на карту фактов и приведены в приложении 1.

Для регистрации сейсмограмм применялась 48-ми канальная портативная инженерная сеймостанция «SGD-SEL» производства НПК «СибГеофизПрибор» (Рис. 3.5).



Рис. 3.5. Портативная инженерная сеймостанция «SGD-SEL» производства НПК «СибГеофизПрибор»

Длина записи сигнала составляла 250 мс при частоте дискретизации 0,5 мс. В качестве источника возбуждения сейсмических колебаний использовалась энергия падающего груза – кувалды массой 8 кг по подложке. Для достижения приемлемого уровня входного сигнала и соотношения сигнал/помеха от одиночных сейсмоприемников, количество накоплений было установлено равное 5. Схема рабочей установки ОГТ приведена на Рис. 3.6. Для целей предварительного редактирования полевой записи, каждая реализация записывалась на диск отдельно. Эта технология позволила экономить время на профиле в случае возникновения технологических помех во время регистрации сигнала, но увеличивала затраты на предварительную обработку данных перед записью в суммотрассы.

«Отметка момента» передавалась по радиоканалу. Сигнал синхронизации снимался с установленного в непосредственной близости от точки ПВ штатного сейсмоприемника.

Перед проведением производственных работ на профиле, для изучения волнового поля и настройки параметров регистрации проводились малообъемные опытно-методические работы и технологические записи идентичности сейсмоприемников.

Для обеспечения лучшего контакта с грунтом сейсмоприемников и уменьшения потерь при возбуждении сейсмических колебаний на месте каждого сейсмоприемника и пункта возбуждения снимался почвенно-растительный слой (10 - 30 см).

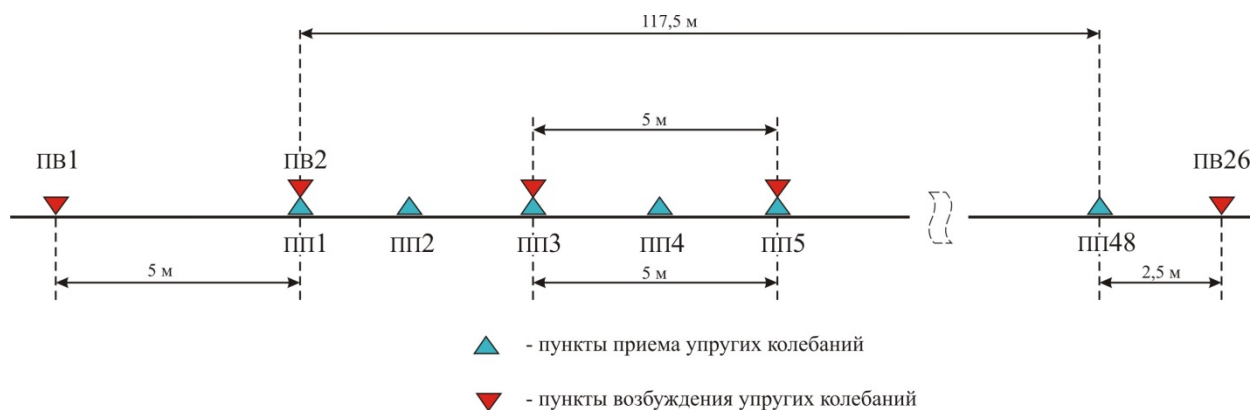


Рис. 3.6. Схема рабочей установки ОГТ

По окончании рабочего дня полученный полевой материал переносился на жёсткий диск компьютера в формате SEG-Y.

Количество физических наблюдений сейсморазведки распределялось по двум непрерывным сейсмическим профилям общей протяжённостью 997,5 м и составило 6 сейсмокос (540 м) + 5 сейсмокос (457,5 м) с перекрытиями =  $11 \cdot 26 = 286$  ф.н.

Таблица 3.2

Объёмы геофизических работ

Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ)	
Количество точек	165 ф.т.
Длина питающей линии	750 м
Сейсморазведка методом отраженных волн (МОВ ОГТ)	
Количество физических наблюдений	286 ф.н.
Шаг наблюдений	5 м
Длина косы	117,5 м
Общая длина наблюдений	997,5 м

Методика обработки сейсморазведочных данных

Камеральная обработка полевых материалов осуществлялась с применением системы RadExPro производства ООО «Деко-геофизика СК», предназначенной для комплексной

обработки данных наземной сейсморазведки, контроля качества полевых сейсмических данных.

Вся обработка данных в программе производилась в рамках проекта обработки. Проект - это совокупность данных различных типов, их геометрии, а также применяемых к этим данным потоков обработки.

Каждый поток строился из набора доступных модулей и выполнял те или иные операции с данными или их наборами, привязанными к тому или иному уровню проекта. Промежуточные результаты обработки сохранялись в созданных внутри проекта новых наборах данных, привязанных к тому или иному его уровню. Такая организация процесса позволяла: всегда просмотреть, что было сделано ранее; хранить историю операций; давала возможность возвратиться к любому шагу; повторить весь процесс заново изменив какие-либо параметры; применить уже построенный поток обработки к другому набору данных.

Последовательность обработки (граф или поток) представляет собой набор обрабатывающих модулей, входы и выходы которых каким-либо образом соединены.

Первым потоком в обработке сейсмических полевых данных являлся ввод полевых данных (сейсмограмм), записанных в формате SEG-Y. Сейсмограммы каждой косы (26 пунктов возбуждения и 48 каналов записи на каждом) вводились отдельно и сохранялись со своими именами. После этого, используя внутренний сервис пакета обработки (GeometrySpreadsheet – редактор таблицы геометрии (таблицы заголовков)), в заголовок каждой сейсмограммы в соответствующие поля была занесена информация о номере точки ОГТ, расстоянии до точки ОГТ в метрах, расстоянии источник-приёмник, или выносе, расстоянии до текущего положения источника возбуждения. За начало отсчёта принималось местоположение первого пункта возбуждения.

Приложение DatabaseVisualization предназначенное для визуализации значений заголовков базы данных проекта в виде гистограмм различного вида, позволяет проконтролировать правильность ввода данных и геометрии, как отдельной косы, так и всего профиля. Если ошибок нет, то гистограммы будут иметь вид, представленный на Рис. 3.7 и 3.8.

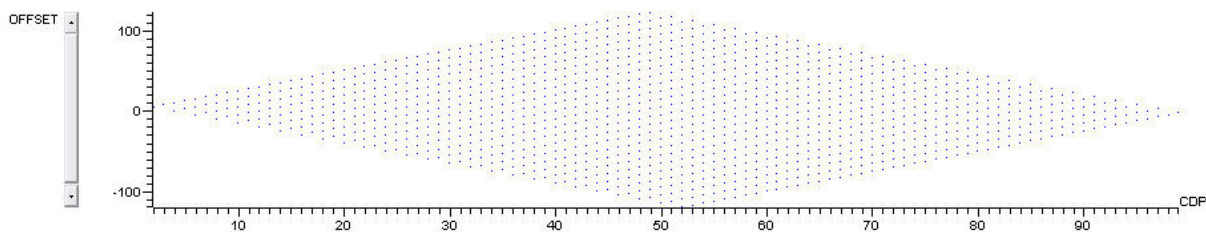


Рис. 3.7. Гистограмма правильно введённых сейсмограмм одной косы



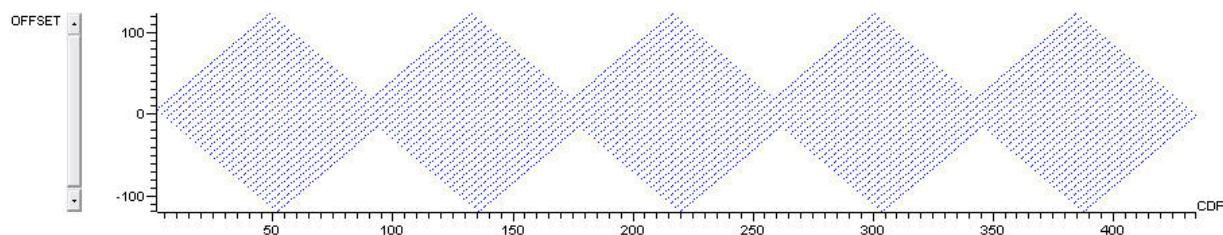


Рис. 3.8. Гистограмма правильно введенных сейсмограмм всего профиля

В случае присутствия каких-либо нарушений в геометрии гистограмм, следует искать ошибки во вводе данных или расчёте геометрии.

После ввода первичных данных и контроля присвоения геометрии все сеймотрассы были обрезаны, для исключения малоинформативных данных из обработки и сокращения времени выполнения вычислительных операций. На этом же этапе обработки была произведена пикировка сейсмограмм по всему профилю с целью уменьшения в дальнейшем влияния волн помех (поверхностных, волн Рэлея и др.), имеющих более низкие скорости, но обладающих большей энергией. На выходе из потока результат был сохранен в виде единого набора данных по всему профилю, а не по каждой косе в отдельности.

Следующий поток, названный предобработкой, включал в себя такие модули как коррекцию амплитуд сеймотрасс (AmplitudeCorrection), предсказывающую деконволюцию (PredictiveDeconvolution), полосовую фильтрацию (BandpassFiltering) и редактирование трасс (TraceEditing). Первый модуль AmplitudeCorrection предназначен для компенсации затухания амплитуд и сферического расхождения трасс.

Модуль PredictiveDeconvolution применялся для устранения когерентных шумов и увеличения разрешающей способности. Отражённый сигнал (трасса) трактуется в пределах линейной модели заданной интегралом конволюции (свёртки). В рамках этой модели, частотная характеристика трассы – это произведение характеристики приемно-регистрирующего канала и частотной характеристики среды. Последняя включает в себя искажения, вызываемые средой, которые фактически являются погрешностями интерпретации наблюдаемых данных (например, кратные отражения, волны-спутники, образовавшиеся на поверхности земли и схожие с ними). В процессе предсказывающей деконволюции рассчитывается оператор линейного фильтра для устранения упомянутых искажений. Для этого с целью решения уравнения Винера-Хопфа используется алгоритм Винера-Левинсона с добавлением белого шума, а с целью минимизирования ошибки предсказания используется метод наименьших квадратов.

Полосовая фильтрация применялась для уменьшения уровня низкочастотных и высокочастотных помех и формирования спектра сигнала, отвечающего импульсу простой формы. В параметрах модуля был выбран фильтр Ормсби.

Поскольку целью обработки являлось получение разреза отраженных волн до глубин в первые сотни метров, то, в этом случае, рэлеевские волны, обладающие значительно более низкими скоростями, чем отражённые, являются помехой. Наиболее эффективный способ подавления такой помехи – нижний мьютинг. Для того чтобы задать этот мьютинг, использовался файл пикировки, созданный ранее и записанный в базе данных. На Рис. 3.9 представлен пример набора данных до и после предобработки.

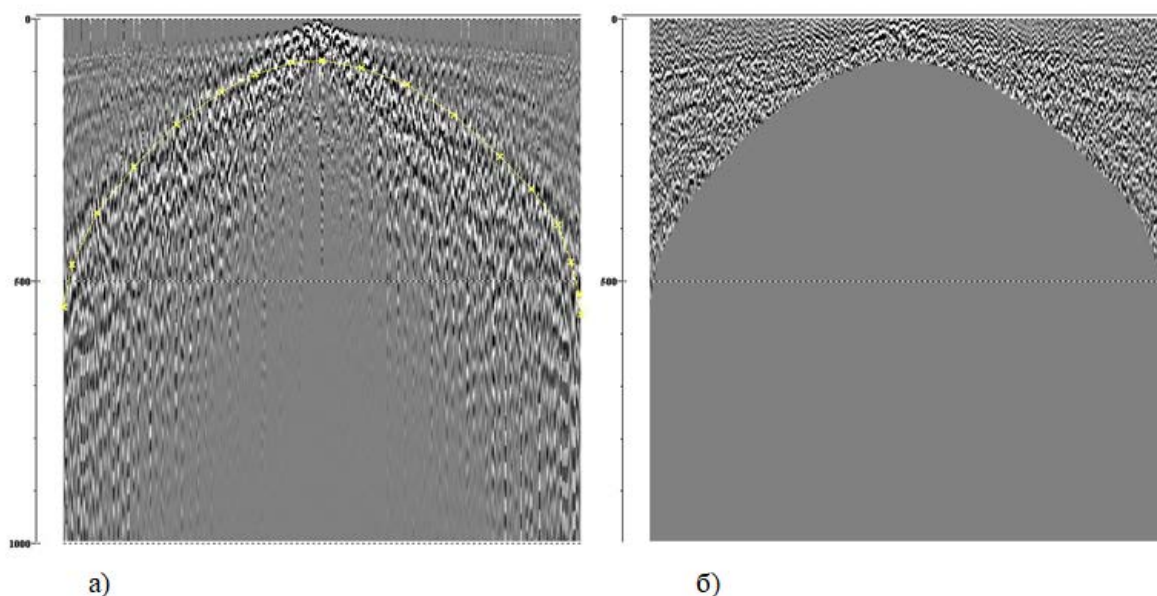


Рис. 3.9. Пример набора данных до а) и после предобработки б). Жёлтым цветом вынесена пикировка

Следующим этапом обработки было создание суперсейсмограмм и интерактивный скоростной анализ. Как правило, с целью повышения отношения сигнал/помеха и получения более «читаемых» спектров скоростей, анализ скоростей проводят не по одиночным выборкам ОГТ, а по ансамблям, состоящим из нескольких соседних ансамблей ОГТ, так называемым, суперсейсмограммам. Для их формирования предназначена процедура SuperGather. Были выбраны такие ее параметры, которые определили шаг скоростного анализа равным 10 точкам ОГТ и выборку супер-ОГТ, состоящую из 5 соседних сейсмограмм ОГТ.

Модуль InteractiveVelocityAnalysis предназначен для проведения скоростного анализа. Окно интерактивного анализа скоростей состоит из 4 частей, показанных ниже на Рис. 3.10 (слева направо: спектр скоростей, суперсейсмограмма, фрагмент суммарного разреза и панели перебора скоростей суммирования).

Фрагмент суммарного разреза (или «динамический стэк») состоит из трасс, полученных при суммировании сейсмограмм ОГТ, вошедших в суперсейсмограмму, с

введёнными кинематическими поправками согласно текущему скоростному закону. При изменении скоростного закона фрагмент пересчитывается.

На каждой из панелей перебора скоростей представлен результат суммирования сейсмограмм ОГТ, вошедших в суперсейсмограмму, с той или иной постоянной скоростью.

После выполнения скоростного анализа для всех суперсейсмограмм созданный скоростной закон сохраняется.

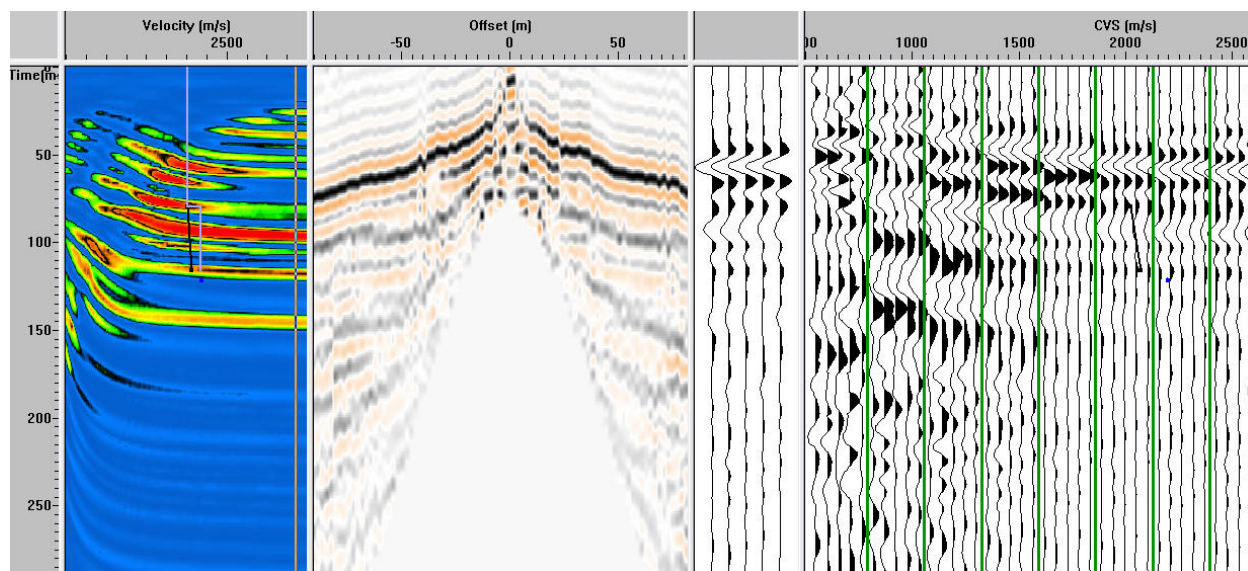


Рис. 3.10. Фрагмент окна панели анализа скоростей

На следующем этапе осуществлялся ввод кинематических поправок в трассы и суммирование сейсмограмм ОГТ. Модуль NMO/NMI осуществляет ввод кинематических поправок. Параметры мьютинга были выбраны таким образом, чтобы те части трассы, которые в результате ввода кинематических поправок должны были бы растянуться более чем на 30% - обнулялись. В качестве скоростного закона выбирался закон, полученный раньше в результате выполненного скоростного анализа.

После модуля NMO/NMI выполнялся модуль EnsembleStack. Этот модуль суммирует все трассы в пределах каждого ансамбля. Так как в модуле TraceInput в начале потока первым ключом сортировки указано поле CDP (номер точки ОГТ), ансамблями в данном случае будут считаться сейсмограммы ОГТ.

На Рис. 3.11 на примере части профиля ОГТ показано влияние кинематических поправок на характер временного разреза.

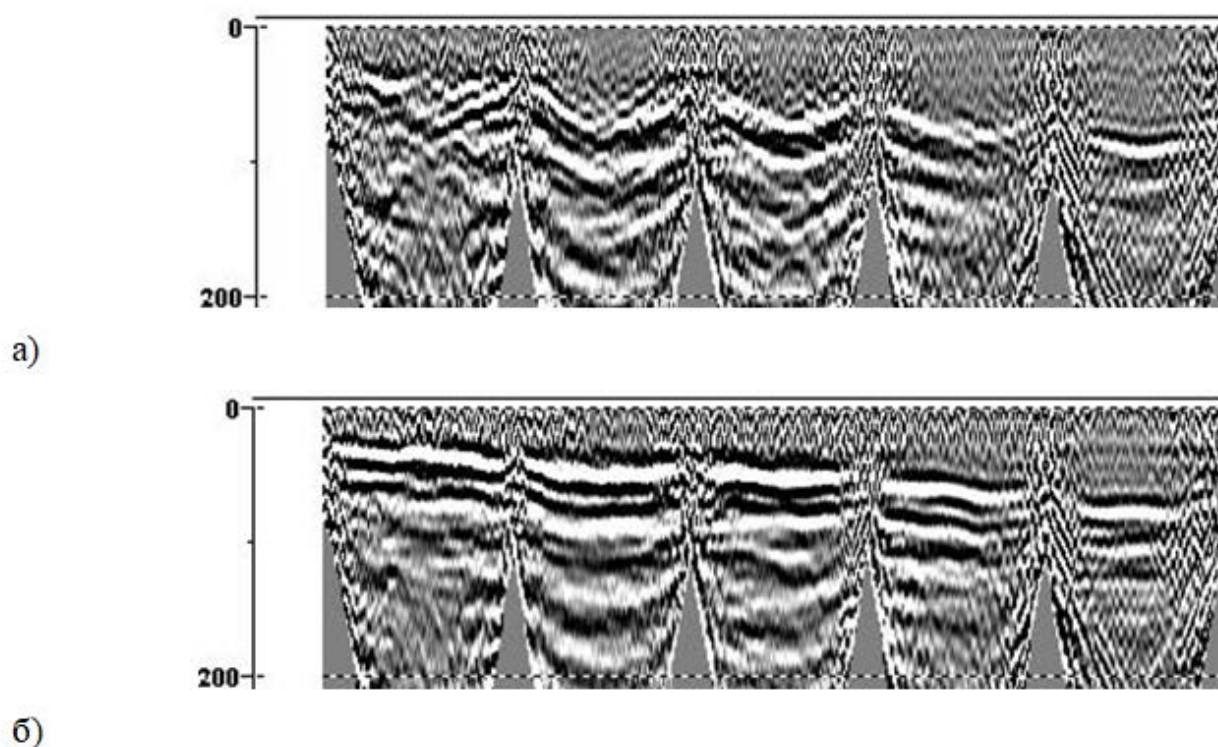


Рис. 3.11. Временной разрез до ввода кинематических поправок а) и после ввода б)

На заключительном этапе обработки был произведён перевод временного масштаба в глубинный с помощью модуля Time/DepthConversion. Скоростной закон считывался из пикировок скоростей, сохраненных в базе данных проекта. Полученный результат был немного сглажен с помощью модуля 2D SpatialFiltering, предназначенного для выполнения различных типов пространственной двумерной фильтрации.

Значения величин пластовых скоростей были получены из скоростей ОГТ путём пересчёта по формуле Дикса.

#### *Методика обработки электроразведочных данных ВЭЗ*

Обработка данных вертикальных электрических зондирований заключается в расчёте и подготовке кривых кажущихся электрических сопротивлений к интерпретации и состоит из нескольких этапов:

На первом этапе значения разносов, питающих и приёмных электродов, измеренные разности потенциалов, и токи вводятся в базу данных.

Кривые кажущегося сопротивления строятся в двойном логарифмическом масштабе, по вертикальной оси откладывается кажущееся сопротивление, по горизонтальной – разнос.

Следующий этап включает построение фоновой кривой кажущегося сопротивления и отбраковку плохих измерений. Фоновая кривая представляет собой осреднённую кривую зондирования, и характеризует изменение геоэлектрических свойств с глубиной, на участке работ в целом. Результат подбора фоновой кривой может быть использован, как начальное



приближение для интерпретации отдельных кривых. Также, она помогает определить тип геоэлектрического разреза.

Резкие «отклонения» в данных, участки кривой не укладывающиеся в теорию ВЭЗ, например асимптоты, идущие под углом более 45 градусов, удаляются или сглаживаются. Количество таких измерений не превышает 5%.

Далее, данные загружаются в программу интерпретации данных вертикальных электрических зондирований – **IPI2WIN1D** (Бобачев А.А., МГУ). Пример ввода кривой ВЭЗ с «воротами» и способы их устранения в программе **IPI2WIN1D** (Рис. 3.12).

Кроме кривых кажущихся сопротивлений, программа позволяет визуализировать данные в форме «псевдоразреза» и графиков профилирования.

Существует множество подходов к интерпретации кривых ВЭЗ, включающие автоматический, полуавтоматический и интерактивный подбор параметров разреза. Общая суть подбора заключается в корректировке (автоматической или интерактивной) параметров разреза для достижения минимального расхождения между наблюдаемой и рассчитанной кривой.

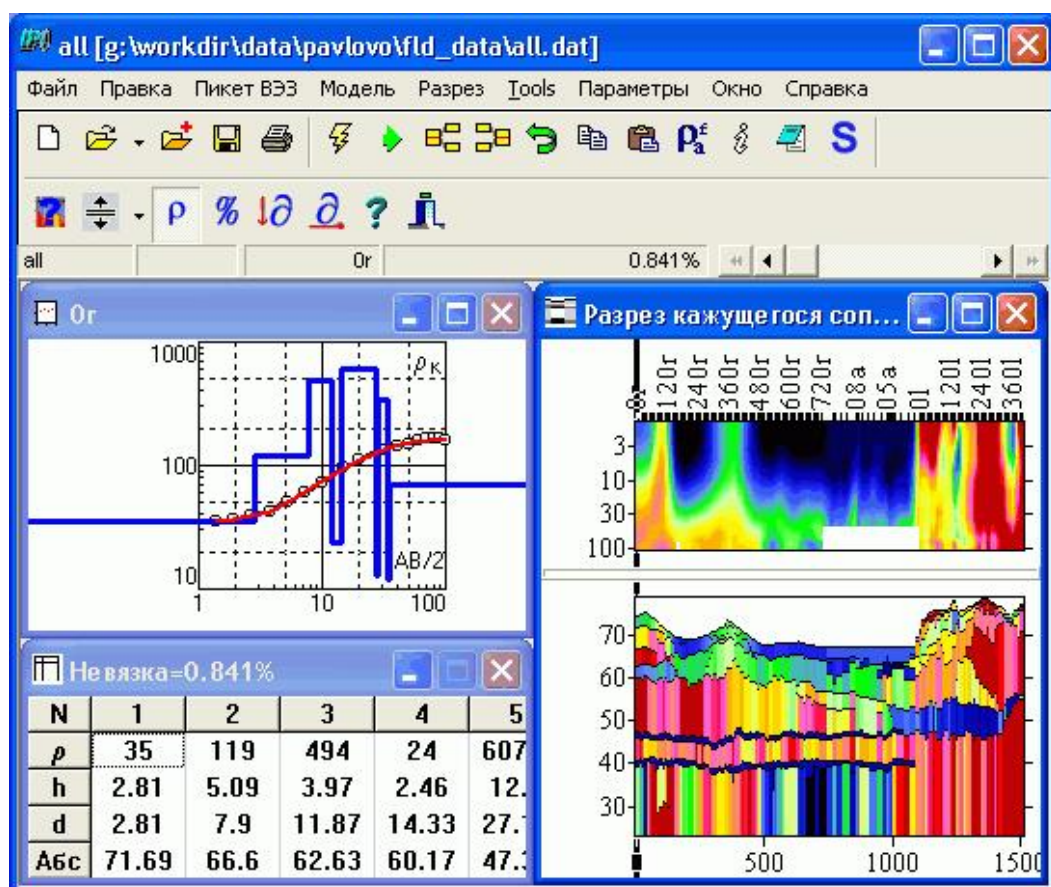


Рис. 3.12. Пример ввода кривой ВЭЗ с «воротами» и способы их устранения

Для профильных данных ВЭЗ применяются алгоритмы, использующие особенности нескольких соседних кривых на профиле. Профильные данные ВЭЗ рассматриваются, как

отражение геологического разреза по профилю в целом, а не как набор независимых кривых зондирования, с которыми работают по отдельности. В программе **IPI2WIN1D** предусмотрены специальные алгоритмы, предназначенные для интерпретации профильных данных вертикального электрического зондирования, с подавлением Р-эффекта каждого сегмента кривой (Рис. 3.13). В ходе интерпретации производится оценка принципа эквивалентности с оценкой качества и устойчивости решения. Ввиду эквивалентности обратной задачи ВЭЗ, качество получаемых результатов напрямую зависит от количества используемых априорных данных.

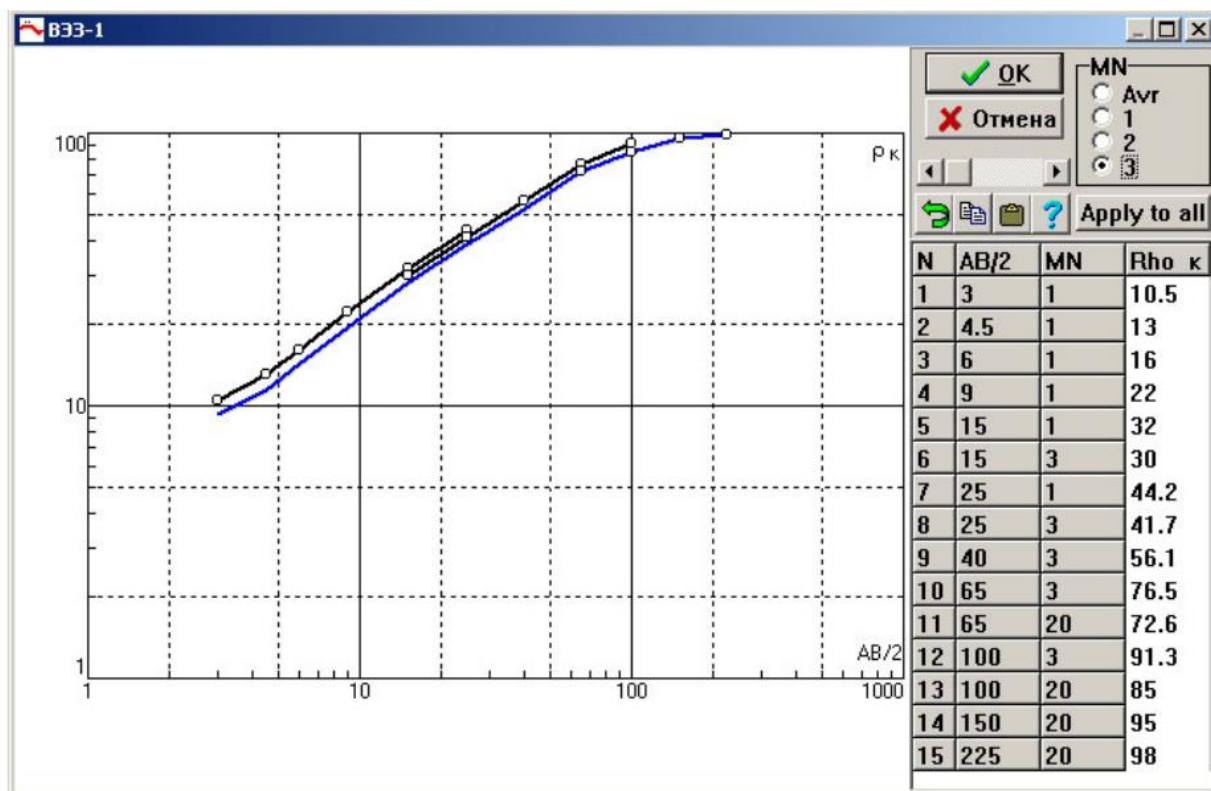


Рис. 3.13. Пример интерпретации ВЭЗ в рабочем окне программы IPI2WIN1D

Обратная задача ВЭЗ даёт не единственное решение, т.к. расчетные кривые могут быть очень близки для нескольких моделей. Поэтому, при подборе необходимо учитывать априорную информацию о геологическом разрезе. Если есть достоверная априорная информация об изучаемом геоэлектрическом разрезе целесообразно закрепить известные параметры или ограничить область их изменения в стартовой модели.

В программе **IPI2WIN 1D** имеется возможность назначения весов измерениям, закрепления и задания пределов изменения свойств отдельных слоев, использования априорной модели, как опорной при инверсии. Если значения каких-либо параметров разреза известны точно (априори или по результатам интерпретации), возможно, их закрепление перед началом автоматической интерпретации.

*Результаты региональных электроразведочных работ ВЭЗ и МОВ ОГТ.*

В результате обработки профилей ВЭЗ были определены удельные электрические сопротивления, мощности и глубины залегания слоев геоэлектрического разреза.

При обработке профиля ВЭЗ был получен, условно, четырехслойный разрез (Прил. 4) по пяти профилям и пятислойный разрез по восьми профилям. Такая разница в слоях геоэлектрического разреза, скорее всего, приурочена к распространению супесей, песков в верхней части разреза при повышении абсолютных отметок рельефа с 5 м до 30 м и более.

Анализ полученного геоэлектрического разреза показал, что нижнекотлинский водоносный горизонт характеризуется относительно небольшим изменением удельного электрического сопротивления и имеет небольшой угол падения в юго-восточном направлении. Разброс сопротивлений не слишком большой, что даёт основание предполагать повсеместную равномерную водообильность в пределах площади геофизических исследований.

Межморенный водоносный горизонт представлен песками, прослеживается на всех электроразведочных профилях с изменением удельных сопротивлений и мощностей в пределах участка геофизических исследований. С целью интерпретации различия сопротивлений и мощностей были построены карты распределения этих параметров по площади (Прил. 2 и 3). Анализ карт показал, что три аномалии с пониженными значениями, по всей видимости, приурочены к относительному увеличению водообильности межморенного горизонта.

В итоге, отмечена тенденция уменьшения мощностей водонасыщенных песков в восточном и юго-восточном направлении и наличии участка с повышенными мощностями в северо-западной и западной части. Связи с этим из 4-х низкоомных зон были выделены две, отвечающие повышенным значениям мощностей межморенного горизонта водонасыщенных песков – С-3 и Ю-3. Юго-западная зона была уменьшена в размерах вследствие исключения ВЭЗ № 62 как малоперспективного.

Сейсморазведка (ОГТ) позволила расчленить разрез по скоростным характеристикам, отчетливо проследить границы слоев и водоупоров, добавив слой в верхней части разреза, не выделяемых по данным ВЭЗ связи с их близкими удельными сопротивлениями, а также произвести точную корреляцию границ.

По результатам работ намечены границы рекомендуемых участков заложения скважин. В качестве источника подземных вод рекомендуется использовать межморенный водоносный горизонт песков, залегающий в интервале глубин порядка 52-77 м ( $A_1-A_2$ ), 64-86 м ( $B_1-B_2$ ) и нижнекотлинский водоносный горизонт кровля которого залегает на средней глубине 126 м ( $A_1-A_2$ ), 144 м ( $B_1-B_2$ ). Построены геолого-геофизические разрезы по линиям  $A_1-A_2$  и  $B_1-B_2$ , проходящим через рекомендуемые участки заложения скважин.



### 3.3. Буровые работы

На основании изучения гидрогеологических и геофизических условий района размещения КС «Славянская», основным перспективным источником водоснабжения был выбран подпорожско-осташковский межморенный водоносный горизонт.

Буровые работы проводились для уточнения геологического разреза четвертичных отложений, определения глубины залегания, мощности и литологического состава водоносных и интервалов залегания водоупорных пород. В связи с этим скважины проходились до глубины 84-85 м для вскрытия на полную мощность межморенного водоносного горизонта.

Всего было пробурено 2 скважины, располагающиеся в северной и южной оконечности намечаемого линейного водозабора.

Скважины 1 и 2 пробурены на глубину 85,0 и 84 м соответственно, и оборудованы на подпорожско-осташковский межморенный водоносный горизонт. Наибольшей водообильностью отличалась скважина 2.

Схема расположения скважин отображена на карте фактического материала (Рис. 3.1).

Бурение осуществлялось вращательным способом самоходной буровой установкой УРБ 2А2 с вращателем шпиндельного типа с прямой промывкой. Геологическое расчленение разреза выполнялось по характеру проходки, изучению керна и результатам каротажа. В качестве промывочной жидкости использовалась техническая вода и глинистый раствор.

Для проведения гидрогеологического опробования были пробурены 2 поисково-оценочные скважины на подпорожско-осташковский межморенный водоносный горизонт. Процесс сооружения скважин осуществлялся поинтервально. Бурение каротажного ствола скважин выполнялось долотом диаметром 112 мм до глубины 11 м (для скв. 1РЭ) и 15 м (для скв. 2РЭ), затем 112 мм до глубины 49 м (для скв. 1РЭ) и 60 м (для скв. 2РЭ) и 112 мм до глубины 85 м (для скв. 1РЭ) и 84 м (для скв. 2РЭ). Далее производилась подготовка скважин к комплексу ГИС. После проведения каротажных работ в каждом из интервалов, выполнялось разбуривание и обсадка скважин в соответствии с проектной конструкцией.

Скважина № 1РЭ разбуривалась до диаметра 394 мм до глубины 20,0 м. Интервал 0 - 20,0 м обсаживался трубами диаметром 325 мм. Далее разбуривание каротажного ствола осуществлялось долотом диаметром 295 мм до глубины 55,0 м. Интервал 0,0 - 50,0 м обсаживался трубами диаметром 245 мм. Далее, до глубины 63,5 м производилась разбурка интервала 55-63,5 м долотом диаметром 214 мм и его обсадка трубами диаметром 168 мм. Далее, до проектной глубины производилась разбурка долотом диаметром 146 мм и установка фильтровой колонны «впотай» диаметром 127 мм в интервале 62,5-85,0 м. В интервале 74-84 м установлен сетчатый фильтр. Отстойник оборудован в интервале 84-85 м.

Затрубное пространство труб 295 мм и 245 мм цементировалось на всю высоту обсаженного интервала. Скважина промывалась чистой водой; была произведена прокачка эрлифтом до полного осветления воды.

Скважина № 2 разбуривалась до диаметра 395 мм до глубины 20,0 м. Интервал 0 - 20,0 м обсаживался трубами диаметром 325 мм. Далее разбуривание каротажного ствола осуществлялось долотом диаметром 295 мм до глубины 55,0 м. Интервал 0,0 - 55,0 м обсаживался трубами диаметром 245 мм. Интервал 50,0-84,0 разбуривался долотом диаметром 215 мм. Был произведён цементаж затрубного пространства на всю высоту обсаженных интервалов. До проектной глубины 84,0 м в скважину опущена фильтровая колонна диаметром 168 мм. Скважина оборудована сетчатым фильтром. Рабочая часть фильтра в интервале 69,7-80,0 м, отстойник в интервале 80,0-84,0 м. Скважина промыта чистой водой, проведена прокачка эрлифтом до полного осветления воды.

По результатам бурения было установлено, что кровля перспективного подпорожско-осташковского межморенного водоносного горизонта залегает на глубине 69,7-72,8 м; подошва – на глубине 80,0-84,0 м. Водоносный горизонт сложен мелкозернистыми песками с различным процентом глинистой фракции.

Литологический разрез и конструктивные особенности скважин представлены на геолого-технических разрезах скважин (Рис. 3.14 и 3.15).

Результаты бурения скважин позволили уточнить геологический разрез на участке работ, а также выделить интервалы залегания перспективного водоносного подразделения.

После проведения опытных гидрогеологических работ пробуренные скважины были ликвидированы в соответствии со схемой ликвидационного тампонажа, предусмотренным в проекте. Ввиду того, что пробуренные поисково-оценочные скважины могут располагаться в пределах ЗСО будущего водозабора, была произведена их цементация. Обсадные трубы и фильтры по возможности извлекались.

Абсолютная отметка устья 21,9 м

Глубина скважины 85,0 м

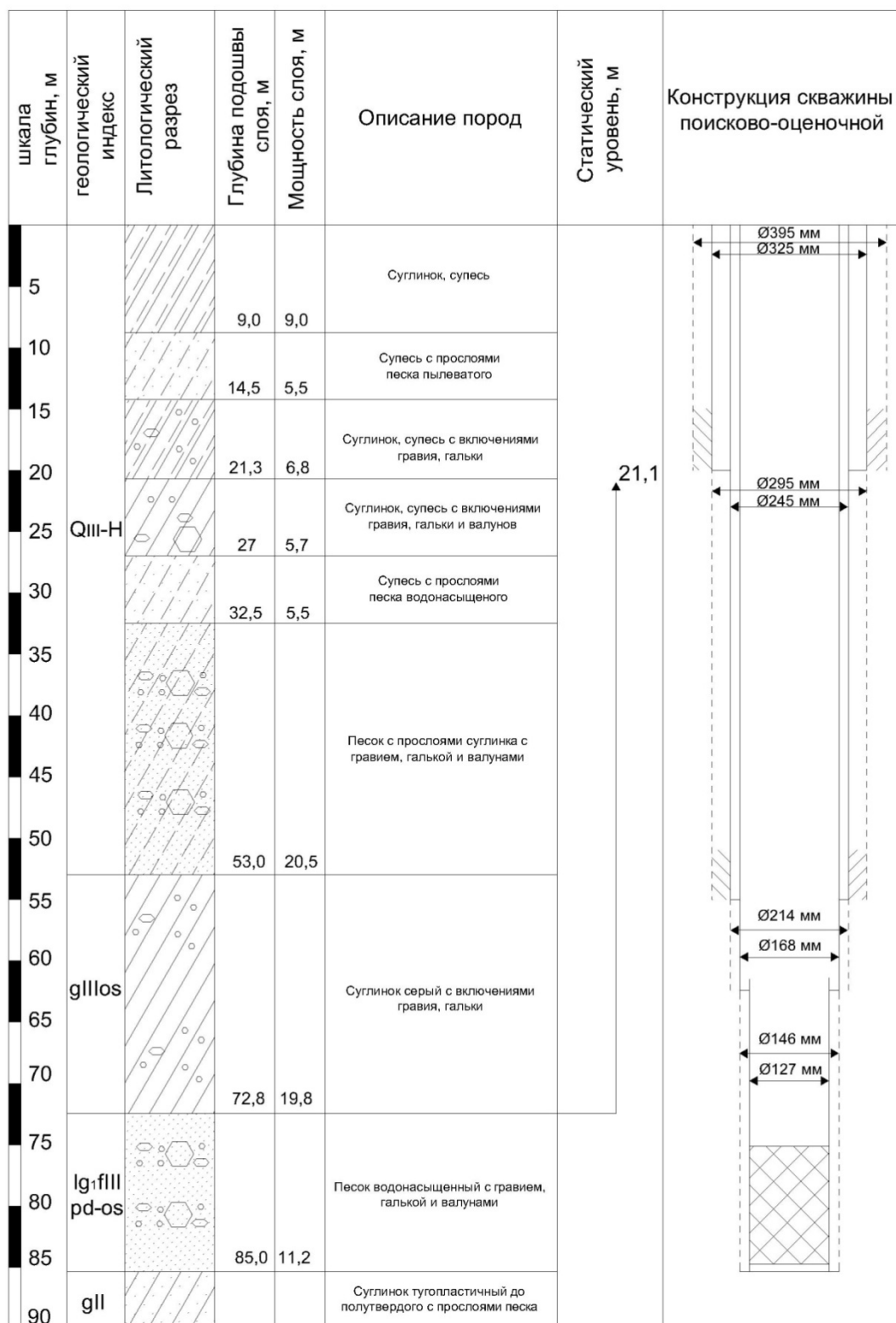


Рис. 3.14. Геолого-технический разрез скважины 1 РЭ

Абсолютная отметка устья 21,02 м

Глубина скважины 84,0 м

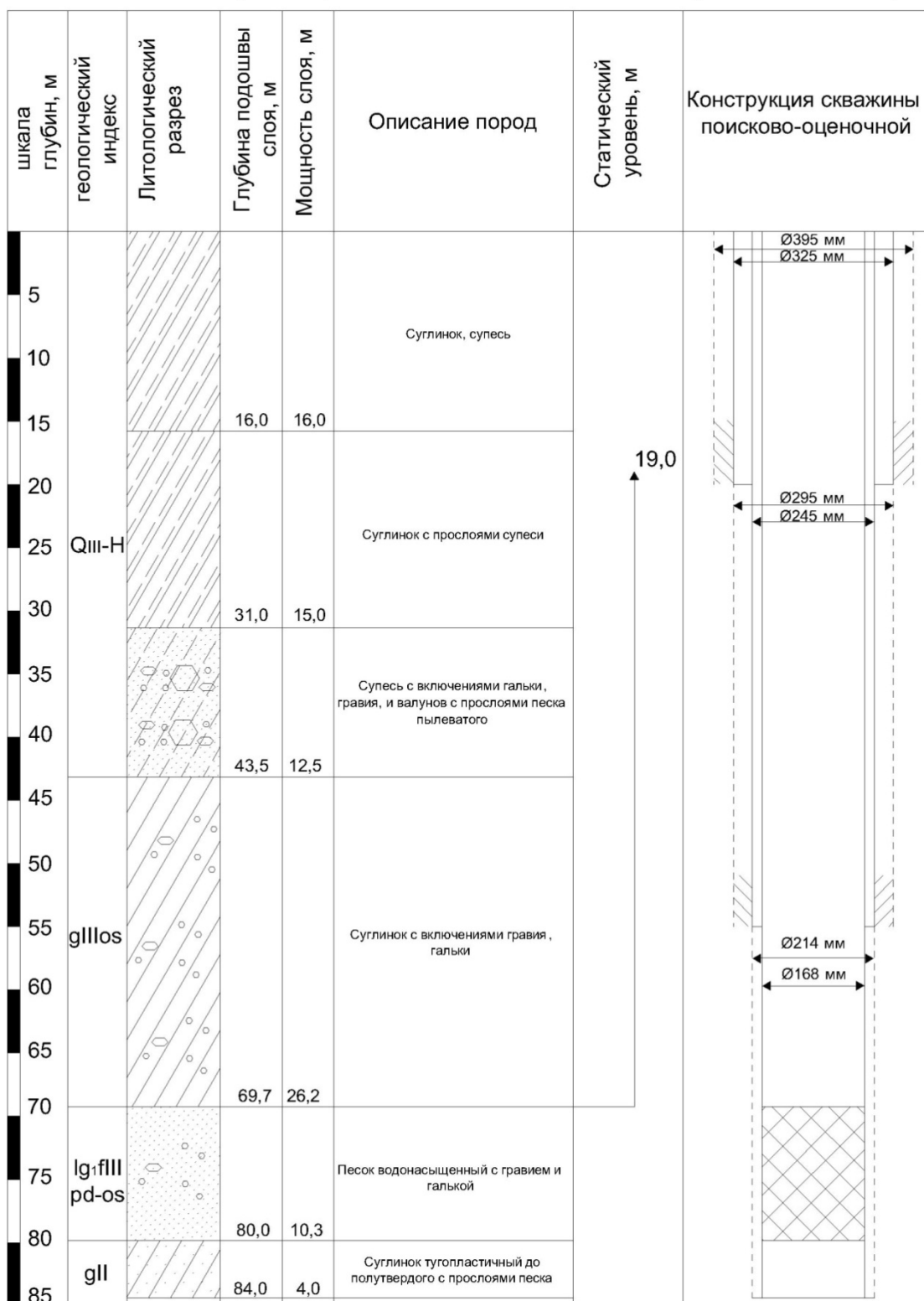


Рис. 3.15. Геолого-технический разрез скважины 2 РЭ

### 3.4. Геофизические исследования в скважинах (ГИС)

Геофизические исследования в скважинах проводились с целью сопоставления разрезов скважин по результатам бурения, уточнения и расчленения разреза, выделению опорных горизонтов и их электрических параметров, выявления зон водопритоков и вертикальных перетоков по стволу скважин, их сравнительной оценки, а также оценки естественной минерализации воды.

Для решения поставленных задач использовались следующие методы скважинных исследований:

- гамма-каротаж (ГК),
- каротаж сопротивлений (КС),
- каротаж потенциалов самопроизвольной поляризации (ПС),
- резистивиметрический каротаж (РЕЗ),
- расходометрия (РМ),
- термометрия (ТМ),
- кавернометрия (КМ).

Регистрация данных каротажа осуществлялась с помощью станции СКГ-1 производства ООО "Велко", заводской номер: № 91 укомплектованной следующими зондами:

- комплексный электрокаротажный зонд КП-51Э (заводской номер №014, измерения КС по схеме подошвенного градиент-зонда А0.9М0.1Н и потенциал-зонда N0.9М0.1А);
- комплексный зонд КП-ГТР-38 (заводской номер № 512, измерения методами ГК, РЕЗ);
- зонд ПС выполненный по схеме потенциал-зонда (измерения поляризации);
- зонд-каверномер КМ–2 (заводской номер № 171, измерение диаметра скважин);
- расходомер РЭТС-2 (заводской номер №2) со скважинными датчиками ПС-70 (заводской номер № 1775) и ПС-56 (заводской номер № 426, измерения водопритоков).

Измерения методом РЕЗ и ТМ проводились в процессе спуска зонда. Измерения методами ГК, КС, ПС и КМ – при подъеме зондов в ходе отдельных спускоподъемных операций. Регистрация данных всех видов каротажа, кроме расходометрии (РМ), велась непрерывно в процессе движения прибора.

Скорость движения зондов при непрерывном каротаже составляла: методы ГК, РЕЗ, КМ – 150-250 м/час, метод КС – 200-400 м/час, метод ПС – 100-120 м/час, метод ТМ – 200м/час. Измерения методом РМ проводились в процессе спуска прибора с остановками в точках измерения, соответственно выбранному шагу исследования. Время измерения на точке, методом РМ составляло 300 сек.

Привязка по глубине и измерение скорости движения зонда осуществлялись с помощью устройства отображения информации (УОИ). Устройство работает совместно с фотоэлектрическим датчиком угловых перемещений, расположенным на калиброванном измерительном колесе устьевого оборудования.

С целью контроля качества данных осуществлялись повторные измерения в количестве 10% от объёма наблюдений.

Ниже приводится краткое описание методик выполнения каротажа по каждому виду исследований.

**Каротаж сопротивлений (КС)** выполнен с помощью скважинного комплексного зонда КП-51Э. В зависимости от того, какие электроды находятся в паре, выделяются потенциал-зонд и градиент-зонд. В потенциал-зонде спарены электроды разного назначения, а в градиент-зонде – одного. Чем тоньше измеряемые пропластки, тем больше разница между показаниями этих двух видов зондов. Исследование сопротивления выполнено с помощью подошвенного градиент-зонда А0.9М0.1N и потенциал зонда N0.9М0.1А (Инструкция по применению каротажных методов при инженерных изысканиях для строительства РСН 46-79). Измерения обоими типами зондов проводились одновременно. Электрический каротаж (КС) проводится только в жидкости и ниже обсадной колонны, поэтому данные КС отображены в соответствующих интервалах.

**Каротаж (ПС)** выполнен с помощью потенциал-зонда. При этом неподвижный электрод располагался в 10-15 м от устья скважины с целью уменьшения влияния гальванокоррозионных процессов на результаты измерений (Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ в скважинах. РД 153-39.0-072-01). Для измерения ПС использовались свинцовые электроды, имеющие минимальную собственную поляризацию

**Резистивиметрический каротаж** выполнен с помощью малого симметричного зонда в составе комплексного зонда КП-ГТР-38 N 512. Удельное электрическое сопротивление жидкости, заполняющей скважину, вычислялось по формуле.

$$\rho_k = k \frac{\Delta U}{I},$$

Расчётный коэффициент ( $k$ ) определялся путем эталонирования зонда с помощью растворов KCl с разной концентрацией (электропроводностью 0.02, 0.1 и 0.5 См/м).

С целью выделения водоносных пластов с интенсивной водоотдачей резистивиметрический каротаж проводился в шесть этапов по следующей схеме. На первом этапе производится измерение электропроводности воды в скважине в естественных условиях, для чего, перед измерениями (после промывки), скважина выстаивалась не менее

24 часов. На втором этапе измерения проводятся непосредственно после засоления скважины. Засоление скважины выполняется с помощью интенсивного перемещения по скважине перфорированной желонки заполненной технической солью. Желонка перемещается по скважине от забоя до уровня воды в скважине, с помощью вспомогательной лебедки бурового станка, до полного вымывания соли из желонки. Засоление проводилось до тех пор, пока не была достигнута достаточная контрастность минерализации между скважинной жидкостью и пластовыми водами. На третьем этапе проводились измерения электропроводности через пол часа после засоления скважины. На четвертом этапе те же измерения повторялись через 1 час после засоления. На пятом этапе те же измерения повторялись через полтора часа после засоления. На шестом этапе те же измерения повторялись через 2 часа после засоления.

**Гамма-каротаж (ГК)** осуществлялся интегральным методом с помощью комплексного зонда КП-ГТР-38 N 512. Датчик ГК состоит из детектора СДН 17.17.110 типа NaI (TI) и фотоэлектронного умножителя ФЭУ-102. При попадании в детектор гамма-излучения, кристалл излучает квант света, который улавливается фотоэлектронным умножителем (ФЭУ). На выходе ФЭУ возникает импульс тока, который после усиления поступает в контроллер. Контроллер подсчитывает импульсы и программно интегрирует их. Для пересчета измеренных значений скорости счета гамма-квантов в единицы мощности экспозиционной дозы (МЭД, мкР/час), использовалась эталонировочная зависимость, полученная с помощью стандартного источника ионизирующих излучений (0,1 мг Ra). Эталонирование выполнено в лаборатории ФГУП "Геологоразведка". Каротаж осуществлялся при значениях трех постоянных времени интегрирования МЭД: 3, 6 и 12 с.

**Расходомерия (РМ)** выполнена прибором РЭТС - 2 №2 со скважинным датчиком ПС -70 №1775 оборудованном центраторами. Основная запись проводилась на спуске зонда, контрольная на подъеме. Измерения на точке проводились с шагом 5 метров с последующей детализацией выбранных участков с шагом 1 метр. Точка записи измерений относилась к нижнему срезу пропускного канала расходомера при восходящем потоке и к верхнему - при нисходящем.

**Кавернометрия (КМ)** выполнена прибором КМ-2 № 171. Измерения проводились при подъеме зонда. Перед началом работы на каждой скважине проводился контроль показаний каверномера, путем измерения калибровочных колец известного диаметра.

**Термометрический каротаж (ТМ)** выполнен с помощью скважинного термометра, входящего в комплект комплексного зонда КП-ГТР-38 N 512.

*Методика обработки и интерпретации данных*

Из исходных данных каротажа, записанных с помощью регистрирующего устройства, для каждой скважины формировалась предварительная база данных, включающая результаты первичных и повторных измерений. На основе предварительных баз данных по каждой скважине формировалась общая база данных каротажа, включающая данные по всем скважинам.

Результаты каротажа изображались в виде каротажных диаграмм в вертикальном масштабе 1:500 (Скважины ВПС-13, ВПС-15, ВПС-17, ВПС-19, ВПС-21, ВПС-23, ВПС-25, Приложение 1, листы 1-7 соответственно.). Комплекс геофизических исследований по скважине КРС-12иг проводился в два этапа, и отображался в виде каротажных диаграмм в вертикальном масштабе 1:500 Приложение 2. На каротажных диаграммах также изображались геологические колонки, полученные путем определения пород по керну контрольных и наблюдательных скважин.

Для изображения данных **каротажа сопротивления** выбран линейный масштаб. По диаграммам КС выделялись участки пород с различными значениями УЭС. Для литологических разностей пород, объединяемых по данным каротажа в единую толщу вычислялись статистические характеристики УЭС.

Для **гамма-каротажа** принят линейный масштаб изображения данных. Установлено, что значения МЭД, полученные при трех различных значениях постоянной времени интегрирования (3, 6, 12 с) находятся в тесной корреляционной связи. Для получения достаточной детальности расчленения пород, при анализе данных, выбрано значение постоянной времени интегрирования 6 секунд. Для литологических разностей пород, объединяемых по данным каротажа в единую толщу, вычислены статистические характеристики МЭД.

Результаты **каротажа ПС** отображены в линейном масштабе. Для учета собственной поляризации электродов, по результатам первичного и повторного наблюдения в контрольной точке, вычислялась разность этих показаний. Эта разность, нормированная на число точек наблюдения, вводилась с противоположным знаком как поправка к значениям потенциала.

Для отображения диаграмм **резистивиметрического каротажа** принят линейный масштаб. По данным РЕЗ оценивалась электропроводность раствора, заполняющего скважину.

Используя данные РЕЗ выполненного в скважинах, заполненных буровым раствором после искусственного засоления, определялись интервалы притока пластовых вод. Интервалы притока проявляются локальным снижением электропроводности. А по



направлению смещения во времени, границ между участками жидкости с различной электропроводностью, определялось направление притока.

Результаты **кавернометрии** изображались в линейном масштабе. По данным измерений диаметра ствола скважины делались выводы о фильтрационных и плотностных свойствах пород слагающих данный разрез.

Результаты **расходомерии** изображались в линейном масштабе. При обработке данных расходомерии, в измеренные результаты объемного расхода жидкости через датчик, вводились поправки за диаметр скважины, полученные по результатам кавернометрии. Рассчитанные данные объемного расхода жидкости через скважину позволяют выделять водоносные пласты с наибольшим дебитом.

Кроме анализа данных в рамках одного метода оценивались корреляционные связи между результатами всех выполненных каротажных методов.

Результаты ГИС и геофизические разрезы представлены в виде геолого-геофизического разреза по каждой скважине на всех площадках с копиями кривых всех методов каротажа, а также в цифровом формате ТХТ для последующих построений и хранения материалов и их геологической интерпретации (Рис. 3.16 и 3.17).

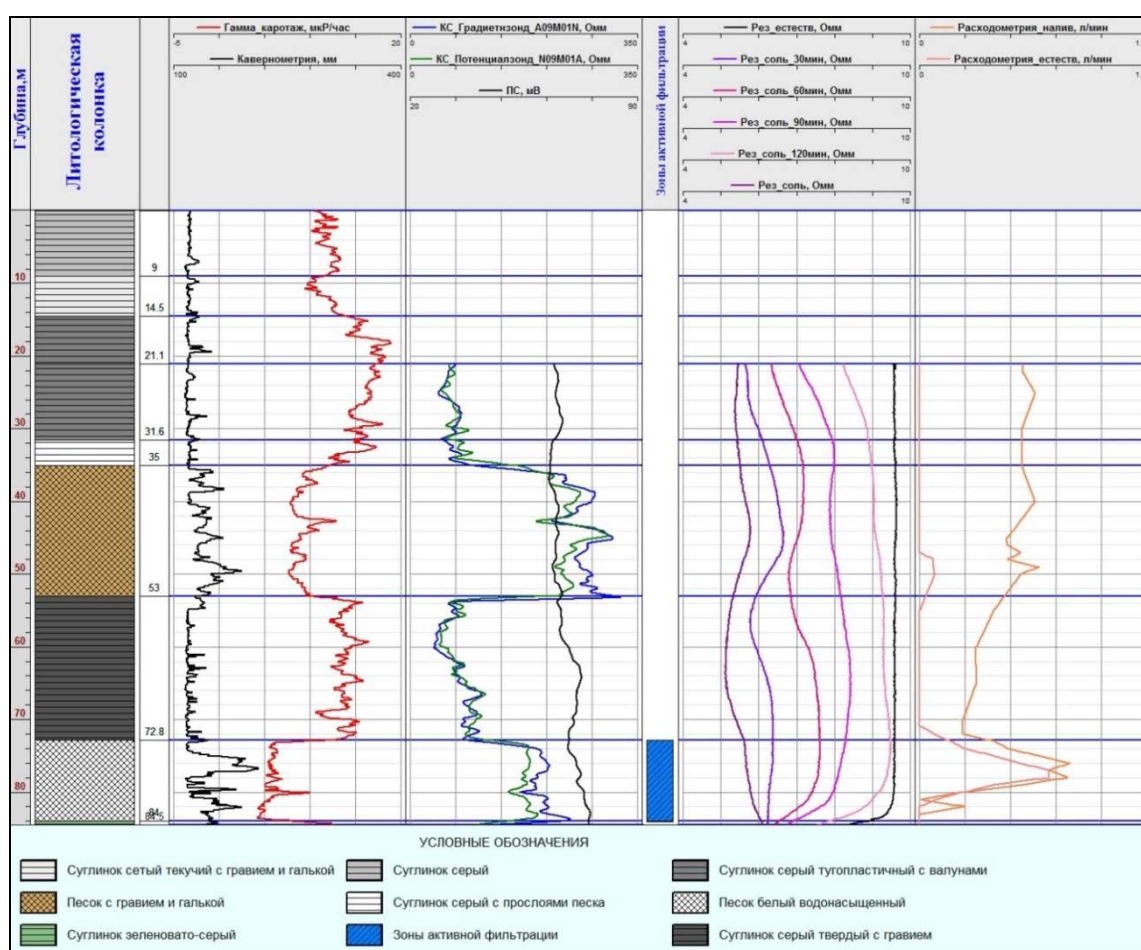


Рис. 3.16. Каротажная диаграмма по скважине 1 РЭ

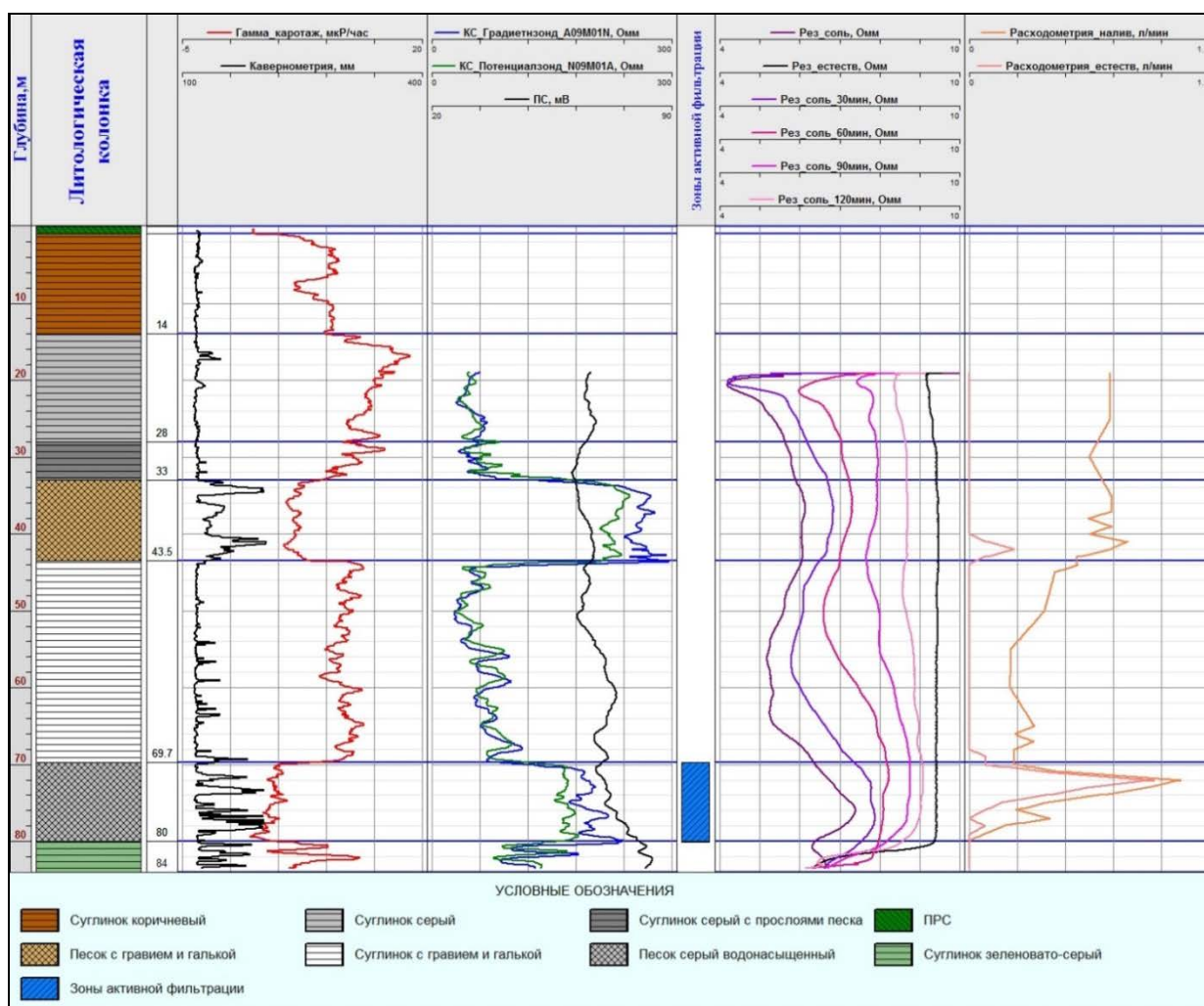


Рис. 3.17. Каротажная диаграмма по скважине 2 РЭ

Скважина 2 РЭ. Глубина скважины по данным ГИС 84,0 м. Геологический разрез представлен четвертичными отложениями (переслаивание супесей, песков, суглинков с включениями гравия, гальки). Для целей водоснабжения рекомендуется использовать пески, залегающие в интервале 69,7-80,0 м.

### 3.5. Опытно-фильтрационные работы

Опытно-фильтрационные работы на скважине выполнялись для определения водообильности вскрытых отложений, расчётных гидрогеологических параметров, рассматриваемых нами перспективных водоносных горизонтов, получения исходных данных для подсчёта запасов подземных вод, установления возможного эксплуатационного дебита водозаборных скважин, а также режима их работы при дальнейшей эксплуатации.

В процессе проведения опытов производились замеры динамического уровня и расхода воды. В начальный период откачки замеры понижения уровня и дебита производились ежеминутно в первые 10 минут опыта, в последующие 10 минут - через

промежутки времени с разницей в 2-5 минут; в течение следующего часа – через 5-10 минут; в течение 2 часов – через 20-30 минут; в течение первых суток через 1-2 часа, далее – через 2-4 часа. Замеры дебита производились одновременно с замерами уровня.

После остановки опытов выполнялись замеры хода восстановления уровня.

Для замеров уровня воды в скважинах, использовался уровнемер типа ЭУ-100. Дебит измерялся объёмным методом при помощи тарированной ёмкости объёмом 200 литров и секундомера.

Отвод откачиваемой воды от устья скважин осуществлялся по временным водоводам в понижения рельефа для исключения притока откачиваемой воды к устью скважины.

В конце откачек из скважин 1 РЭ и 2 РЭ отбирались пробы воды для определения полного химического, бактериологического и радиологического анализа воды и оценки ее пригодности для хозяйственно-питьевых целей в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 и НРБ-99/2009.

Опытно-фильтрационные работы включали в себя проведение 2-х одиночных откачек. До начала проведения откачек в скважинах выполнялись прокачки с целью оживления водоносных горизонтов, окончательной очистки скважин от шлама.

Ниже описываются технологические особенности и основные результаты проведённого опыта.

В скважине 1 РЭ проводилась одиночная откачка с дебитом 4,4 л/с (15,84 м<sup>3</sup>/час; 380,16 м<sup>3</sup>/сут) в течение 73 часов (3,02 суток) с использованием электропогружного насоса марки ЭЦВ 6-16-150, установленного на глубину 50,0 м. Статический уровень на момент начала откачки был зафиксирован на глубине 21,1 м. Величина понижения составила 12,42 м. Удельный дебит скважины равен 0,35 л/с·м. Откачка закончена в установившемся режиме. Наблюдения за восстановлением уровня проводились в течение 22 часа (0,9 сут) после окончания откачки. За это время уровень полностью восстановился до статического. Основные результаты откачки сведены в таблицу 3.3. Хронологический график хода выполнения опыта отображён на Рис. 3.18.

**Таблица 3.3**

**Основные результаты откачки из скважины 1 РЭ**

Статический уровень, м	Динамический уровень, м	Величина понижения, м	Дебит, л/с (м <sup>3</sup> /час), [м <sup>3</sup> /сут]	Удельный дебит, л/с·м	Длительность откачки, час (сут.)	Длительность наблюдений за восстановлением уровня, час (сут.)
21,1	33,52	12,42	4,4 (15,84) [380,16]	0,35	73 (3,02)	22 (0,9)

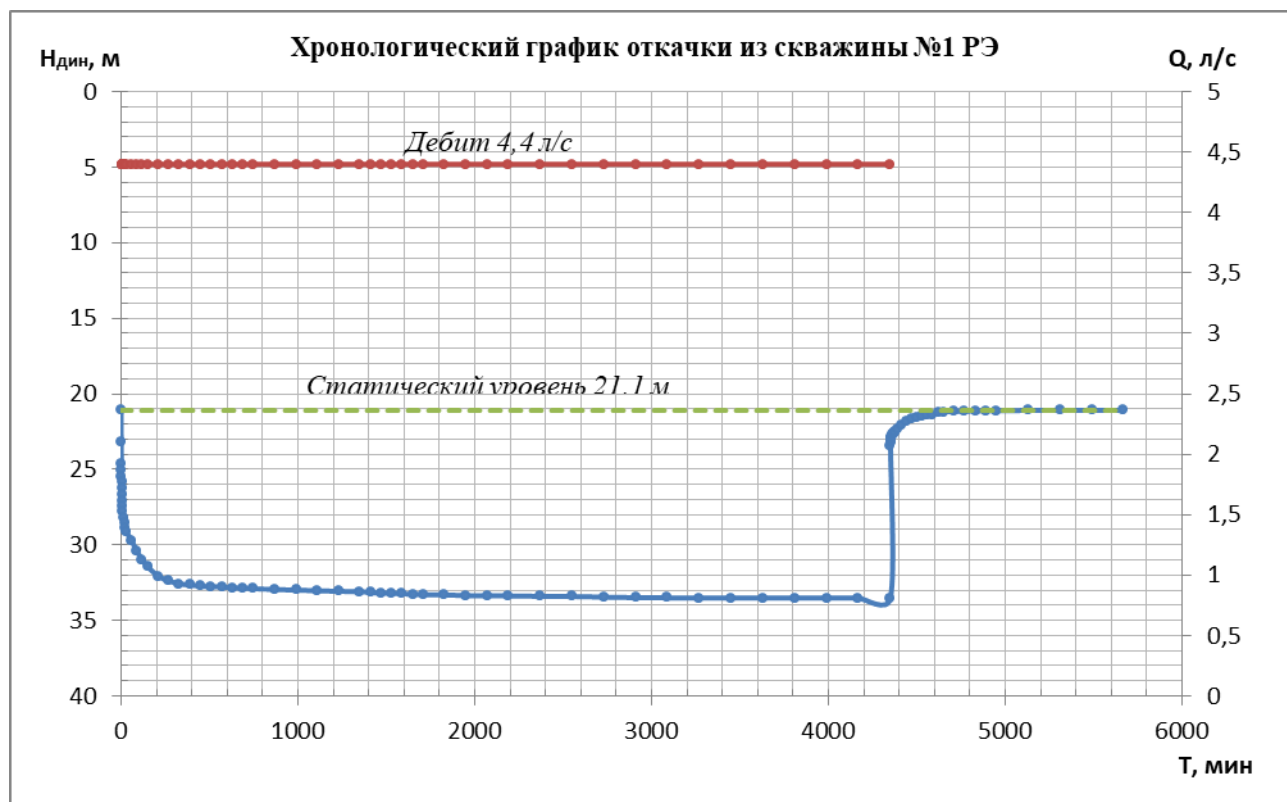


Рис. 3.18. Хронологический график хода откачки по скважине 1РЭ

Параметры, определяемые в ходе обработки опытно-фильтрационных работ включают коэффициент водопроницаемости ( $T$ ,  $\text{м}^2/\text{сут}$ ) и допустимое понижение уровня ( $S_{\text{доп}}$ , м). Коэффициент пьезопроводности ( $a^*$ ,  $\text{м}^2/\text{сут}$ ) определялся на основании справочных, архивных и теоретических данных. Типовая схема пласта дана на Рис. 3.19. Обработка данных опытной кустовой откачки из скважины 1 РЭ выполнялась графоаналитическим способом с помощью программного комплекса Ansdimat 10.5.2 (Рис. 3.20 и 3.21).

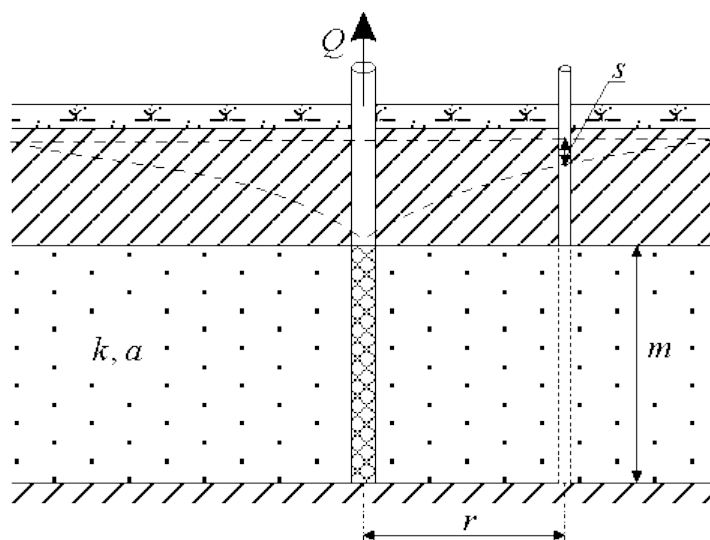


Рис. 3.19. Типовая схема пласта. Названия параметров даны ниже.

Уравнение для квазистационарного периода - Решение Купера–Джейкоба:



$$s = \frac{0.183Q}{T} \lg \frac{2.25at}{r^2}, \quad (3.1)$$

где

$a$  – пьезопроводность водоносного пласта, м<sup>2</sup>/сут;

$Q$  – расход опытной скважины, м<sup>3</sup>/сут;

$r$  – расстояние от опытной скважины до наблюдательной скважины, м;

$s$  – понижение в наблюдательной скважине, м;

$T$  – проводимость водоносного пласта, м<sup>2</sup>/сут;

$t$  – время от начала откачки, сут.

На графике временного прослеживания  $s - \lg t$  способом прямой линии определяются проводимость водоносного пласта:

$$T = \frac{0.183Q}{C}, \quad \lg a = \frac{A}{C} + \lg \frac{r^2}{2.25}, \quad (3.2)$$

где

$A$  – величина, которую отсекает прямая линия на оси ординат;

$C$  – угловой коэффициент прямой линии.

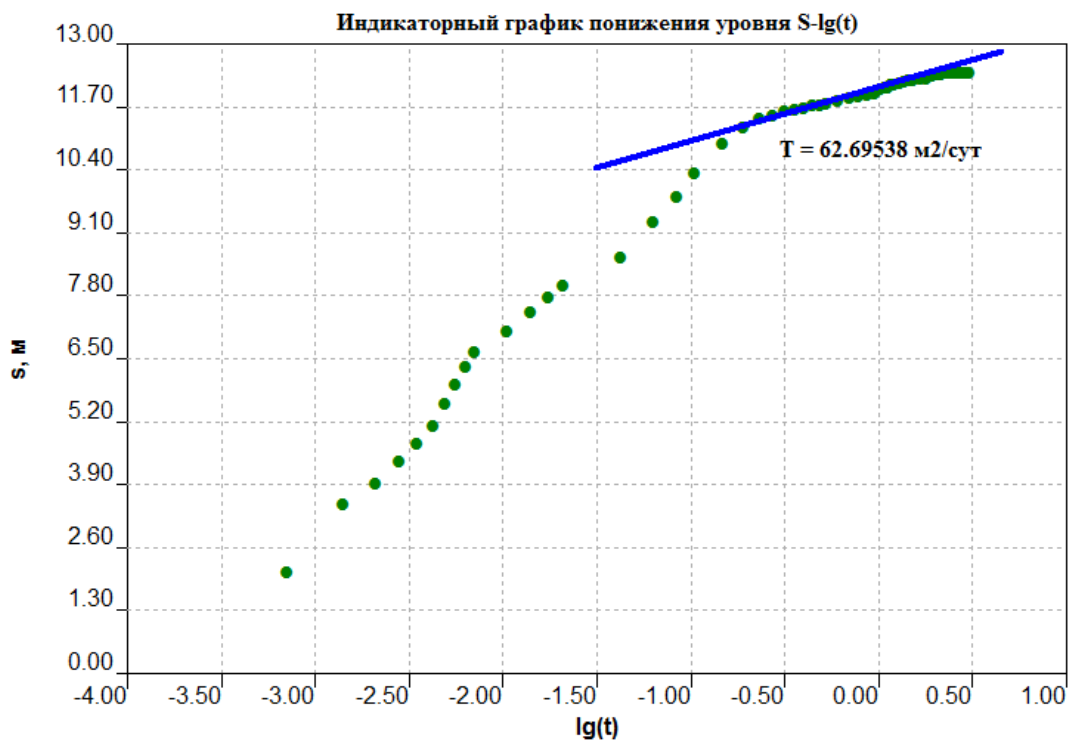


Рис. 3.20. График временного прослеживания понижения уровня  $S - \lg(t)$ \*. \*- График построен по фактическим данным понижения уровня по скважине 1РЭ. Для определения параметров используется способ прямой линии.

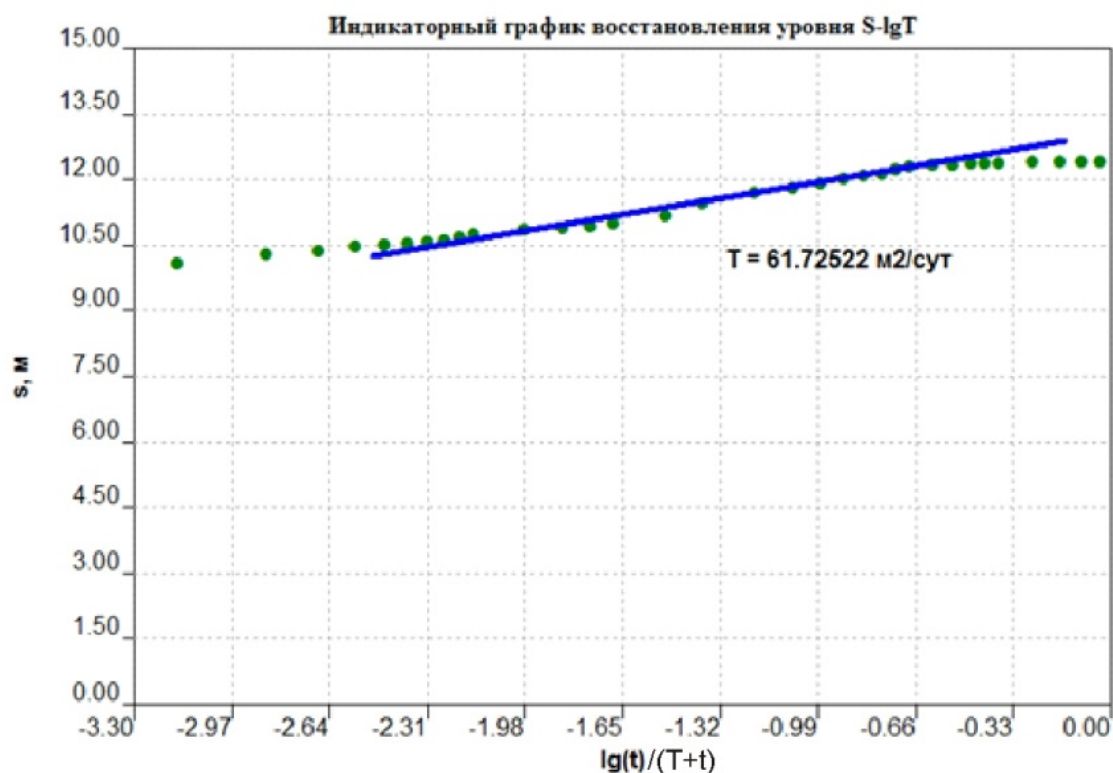


Рис. 3.21. График временного прослеживания восстановления уровня  $S^*\text{-lg}(t/T+t)^{**}$ . График построен по фактическим данным восстановления уровня, отсчитанного от окончания откачки. Для определения параметров используется способ прямой линии.

Результаты опытно-фильтрационных работ и определения основных параметров водоносного пласта по скважине 1 РЭ сведены в таблицу 3.4.

**Таблица 3.4**

Результаты определения параметров по скважине 1 РЭ

$Q, \text{ м}^3/\text{сут}$	$q, \text{ л/с м}$	$S_{\text{доп}}, \text{ м}$	Коэф. водопроницаемости, $T, \text{ м}^2/\text{сут}$		Коэф. пьезопроводности $a^*, \text{ м}^2/\text{сут}$ (табл.)
			$S\text{-lg}(t)$	$S^*\text{-lg}(t)$	
380,16	0,35	50,0	62,69	61,72	$10^5$

Сходимость в определении коэффициента водопроницаемости по данным откачки и восстановления достаточно высока. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейших расчетах.

Здесь следует отметить, что дебит опытной откачки из скважины 1 РЭ составил максимальную нагрузку на скважину будущего водозабора, из расчета распределения нагрузки по 385  $\text{м}^3/\text{сутки}$  на каждую скважину при работе водозабора в режиме ППЗ. Величина понижения уровня при проведении откачки не превышала глубины установки насосов и величины допустимого понижения. В связи с этим, уже на этапе проведения опытно-фильтрационных работ можно дать предварительное заключение о возможности обеспечения объекта водой с заявленной водопотребностью.

В скважине 2 РЭ проводилась одиночная откачка с дебитом 2,2 л/с ( $7,92 \text{ м}^3/\text{час}$ ;  $190,08 \text{ м}^3/\text{сут}$ ) в течение 46 часов (1,91 суток) с использованием электропогружного насоса марки PedrolloSR15/18, установленного на глубину 50,0 м. Статический уровень на момент начала откачки был зафиксирован на глубине 19,0 м. Величина понижения составила 15,04 м. Удельный дебит скважины равен 0,52 л/с·м. Откачка закончена в установившемся режиме. Наблюдения за восстановлением уровня проводились в течение 7 часов (0,3 сут) после окончания откачки. За это время уровень полностью восстановился до статического. Основные результаты откачки сведены в таблицу 3.5. Хронологический график хода выполнения опыта отображён на Рис. 3.22. Обработка данных опытной откачки из скважины 2 РЭ выполнялась графоаналитическим способом (Рис. 3.23 и 3.24).

Таблица 3.5

Основные результаты откачки из скважины 2 РЭ

Статический уровень, м	Динамический уровень, м	Величина понижения, м	Дебит, л/с ( $\text{м}^3/\text{час}$ ), [ $\text{м}^3/\text{сут}$ ]	Удельный дебит, л/с·м	Длительность откачки, час (сут.)	Длительность наблюдений за восстановлением уровня, час (сут.)
18,98	34,02	15,04	2,2 (7,92) [190,08]	0,52	46 (1,91)	7 (0,3)

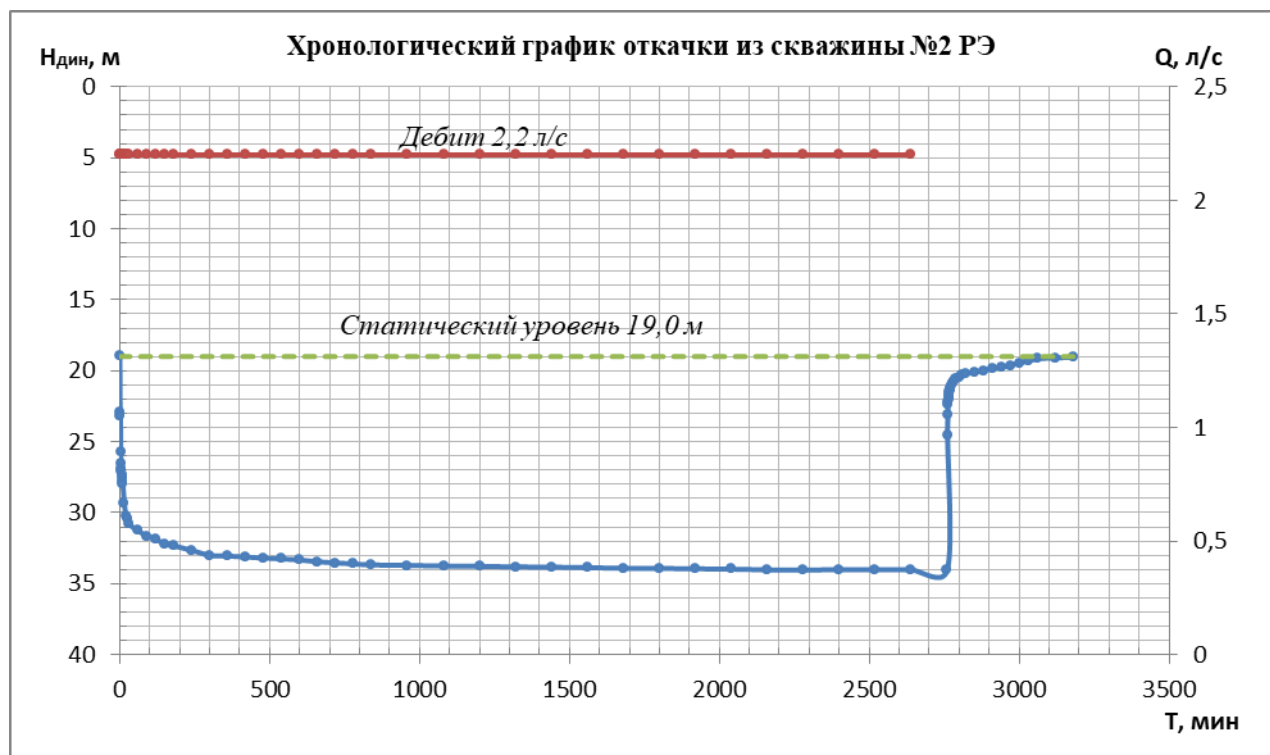


Рис. 3.22. Хронологический график хода откачки по скважине 2РЭ

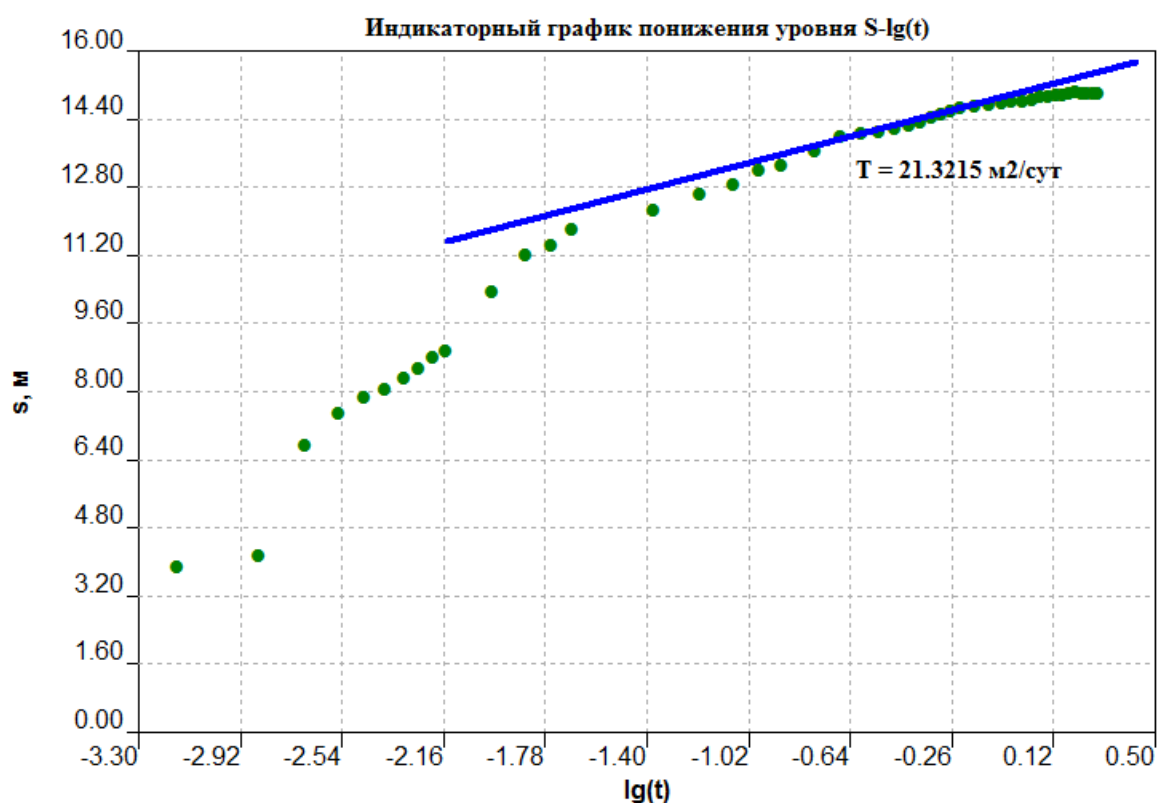


Рис. 3.23. График временного прослеживания понижения уровня  $S\text{-lg}(t)$ \* График построен по фактическим данным понижения уровня по скважине 2РЭ. Для определения параметров используется способ прямой линии.

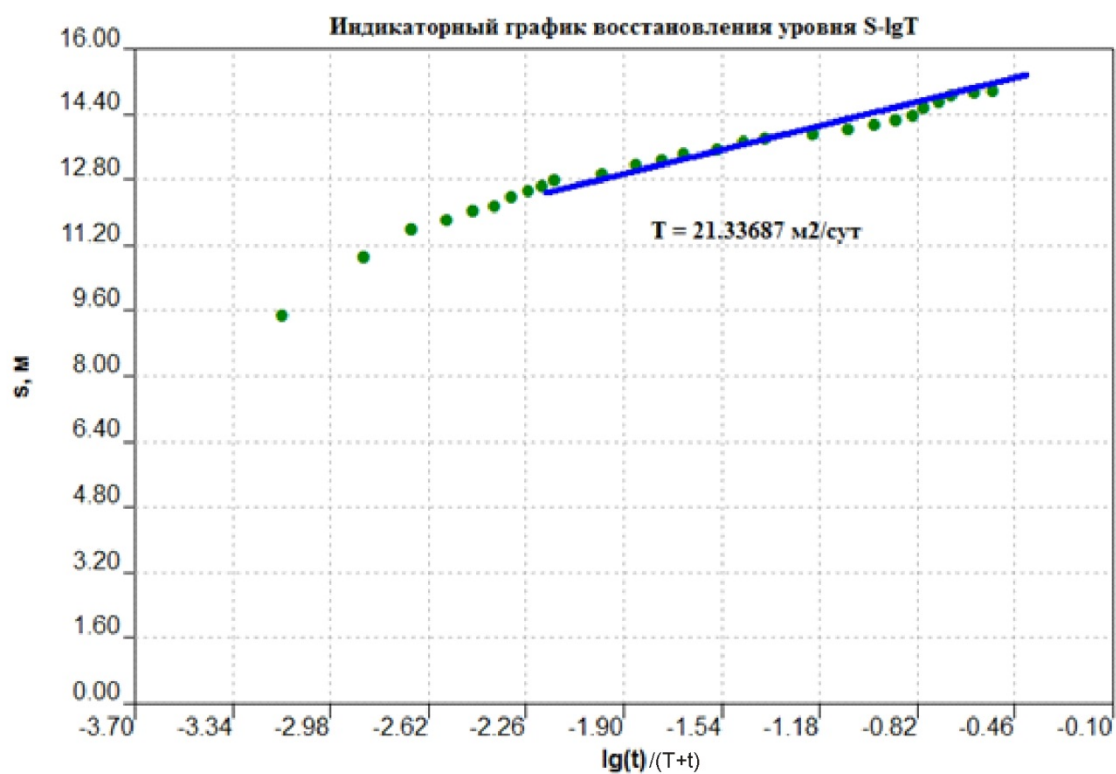


Рис. 3.24. График временного прослеживания восстановления уровня  $S^*\text{-lg}(t/T+t)$ \*\* График построен по фактическим данным восстановления уровня, отсчитанного от окончания откачки. Для определения параметров используется способ прямой линии.



Результаты опытно-фильтрационных работ и определения основных параметров водоносного пласта по скважине 2 РЭ сведены в таблицу 3.6.

Таблица 3.6

Результаты определения параметров по скважине 2 РЭ					
Q, м <sup>3</sup> /сут	q, л/с м	S <sub>доп</sub> , м	Коеф. водопроницаемости, Т, м <sup>2</sup> /сут		Коеф. пьезопроводности а*, м <sup>2</sup> /сут (табл.)
			S-Ig(t)	S*-Ig(t)	
190,08	0,52	47,7	21,32	21,33	10 <sup>-5</sup>

### 3.6. Лабораторные исследования

Подсчёт запасов по категории С1 предполагает в том числе изучение качества подземных вод в такой мере, которая обеспечивает предварительное решение вопроса о возможности их использования по назначению (Михайлов, Бродская, 2003).

В нашем случае, лабораторные исследования проб воды выполнялись с целью определения физических свойств, химического состава, бактериологических и радиологических показателей качества воды и установления возможности их использования для организации питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения объекта.

Комплекс определений состава и свойств подземных вод определяется требованиями СанПин 2.1.4.1074-01 и НРБ-99/2009, где предельно допустимые значения и уровни вмешательства по каждому элементу или соединению приведены в специальных таблицах. Пробы воды отбирались в конце откачек из скважин №1 и №2. Всего было отобрано 2 пробы на химический, бактериологический и радионуклидный анализы.

*Химический анализ* отражает безвредность питьевой воды по химическому составу, которая определяется её соответствием нормативам по содержанию вредных химических веществ (таблица 2 СанПин 2.1.4.1074-01): водородный показатель, общая минерализация, жёсткость, окисляемость перманганатная, нефтепродукты, ПАВ, фенольный индекс; 37 элементов, катионов и анионов неорганических соединений; органические показатели, включающие линдан, ДДТ (сумма изомеров), 2,4-Д.

*Бактериологический анализ* характеризует безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении и определяется её соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям, представленным в таблице 1 (СанПин 2.1.4.1074-01).

*Радионуклидный анализ.* Согласно пункту 5.3.5. (НРБ-99/2009) предварительная оценка качества питьевой воды по показателям радиационной безопасности может быть дана по удельной суммарной альфа- ( $A_\alpha$ ) и бета-активности ( $A_\beta$ ). При значениях  $A_\alpha$  и  $A_\beta$  ниже 0,2

и 1,0 Бк/кг соответственно. В случае превышения указанных уровней проводится анализ содержания радионуклидов в воде.

Исследования проб воды выполнялись в аккредитованном испытательном лабораторном центре. Аккредитация на право выполнения исследований (испытаний) качества питьевой воды также является требованием СанПин 2.1.4.1074-01. Качественный состав подземных вод подробно описан в главе 4.

### **3.7. Камеральные работы**

В данном разделе характеризуются камеральные работы, выполненные специалистами ООО «Газпром проектирование». Камеральные работы состояли из нескольких этапов:

1 этап – обработка материалов полевых работ: рекогносцировочное обследование территории, обследование водозаборов и техногенных объектов, буровые и опытно-фильтрационные работы, геофизические исследования в скважинах, лабораторные работы.

По результатам камеральной обработки построены карты, разрезы, колонки скважин, графики откачек, каротажные диаграммы, таблицы химических анализов воды, дана геоэкологическая характеристика состояния территории. Все материалы обработки созданы как в аналоговом, так и в электронном вариантах. Фактически на данном этапе создана база данных в бумажном и электронном виде.

2 этап – по результатам опытно-фильтрационных работ определены расчетные гидрогеологические параметры, определена водообильность отложений перспективного водоносного горизонта. Результаты определений приведены в разделе 3.5 и сведены в таблицы 3.3, 3.5.

Данные буровых и опытно-фильтрационных работ, гидрохимическое опробование позволили охарактеризовать межморенный водоносный горизонт и оценить его перспективность для водоснабжения объекта.

Камеральная обработка материалов показала их достаточность и достоверность для подсчета запасов по категории С1.

Завершающим, 3-им этапом камеральных работ, явилось составление отчета о результатах проведенных поисково-оценочных работ и подсчет запасов подземных вод подпорожско-осташковского межморенного водоносного горизонта по категории С1.

## Глава 4 ХАРАКТЕРИСТИКА КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД И САНИТАРНОЙ ОБСТАНОВКИ

### 4.1. Качество подземных вод

Обобщённая характеристика химического состава подземных вод дана при описании гидрогеологических условий района. В данном разделе приведены результаты гидрохимического опробования подпорожско-осташковского межморенного водоносного горизонта.

Пробы воды отбирались в конце откачек из скважин №1 и №2 насосами марки ЭЦВ 6-16-150 и PedrolloSR15/18 соответственно. Отбор проб воды для анализа выполнен в соответствии с требованиями государственных стандартов (ГОСТ 31861-2012).

Изучение качества подземных вод проводилось для оценки пригодности подземных вод водоносных горизонтов для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения в соответствии с требованиями: СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Для полной оценки качества подземных вод в круг определяемых показателей включены макрокомпоненты, не упомянутые в таблице 2 СанПиН 2.1.4.1074-01 – гидрокарбонаты, кальций, магний, но необходимые для характеристики формулы солевого состава воды. Специальных требований к качеству вод на восполнение противопожарного запаса не предъявлялось. Сводная таблица результатов аналитических исследований проб воды отображена ниже.

Наиболее наглядно химический состав подземных вод изображается в виде формулы (записи) Курлова или формулы состава воды. Эта формула представляет собой псевдодробь, в числителе которой в убывающем порядке записывают эквивалентное содержание анионов, в знаменателе – катионов (Гавич и др., 1985).

Проба воды из скважины №1 характеризуется как гидрокарбонатно-хлоридная натриевая, мягкая, солоноватая ( $M$  = минерализация  $1,24 \text{ мг/дм}^3$ ). Формула состава представляется в следующем виде (4.1):

$$M_{1,24} \frac{Cl56 \text{ HCO}_3 43}{Na 81 [Ca 11 Mg 8]} \quad (4.1)$$

Проба воды из скважины №2 характеризуется как гидрокарбонатно-хлоридная натриевая, средней жёсткости, солоноватая (сухой остаток 1,49 мг/дм<sup>3</sup>). Формула состава представляется в следующем виде (4.2):

$$M_{1,49} \frac{Cl 61 HCO_3 39}{Na 81 [Ca 11 Mg 9]} \quad (4.2)$$

В России широко распространено использование формулы Курлова в различных ее модификациях (Резников и др., 1970). Кроме отображения химического состава воды в виде формул (4.1 и 4.2), возможен и графический способ. Среди графического представления широко известны диаграммы Пайпера (Рис. 4.1). Преимуществом графического изображения является его наглядность, возможность проследить эволюцию вод того или иного региона. Например, в широко используемой в настоящее время диаграмме Пайпера, наряду с разделением вод по основным ионам существует возможность отображать минерализации вод. По катионному составу воды относятся к К-Na типу, а по анионному к бикарбонатному типу.

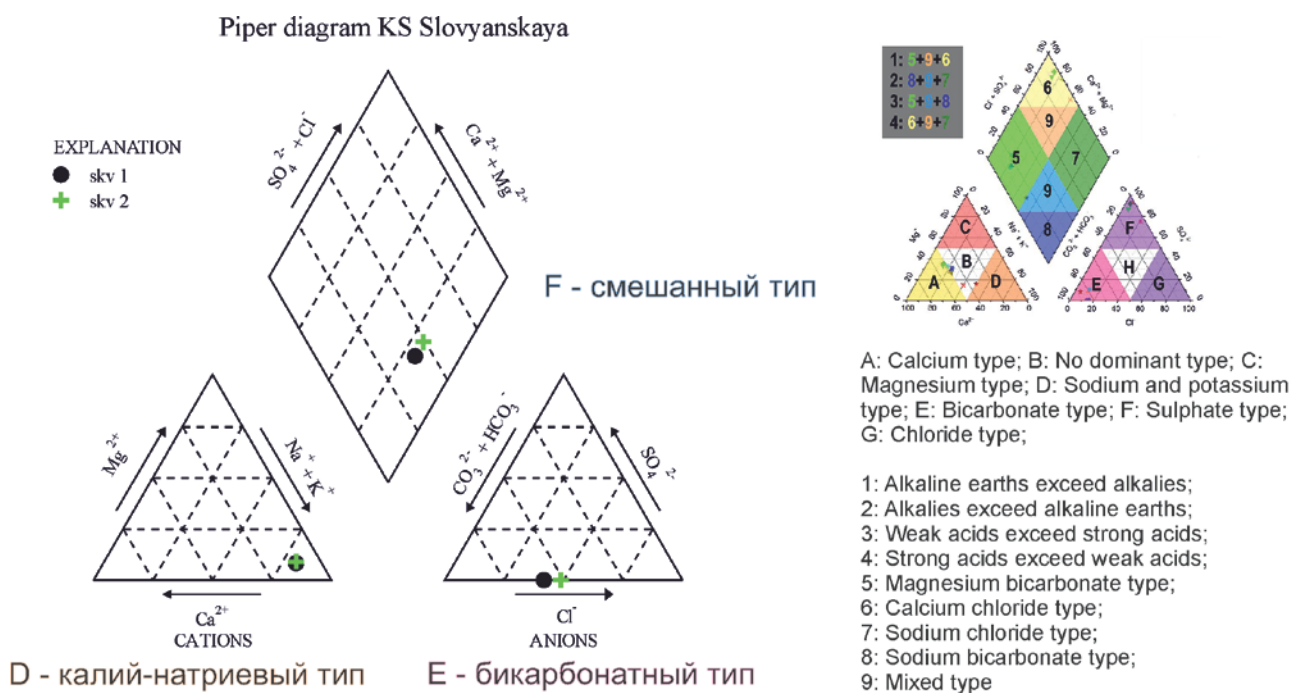


Рис. 4.1. Диаграмма Пайпера (построена в GW\_Chart: A Program for Creating Specialized Graphs Used in Groundwater Studies, USGS)

Из таблицы 4.1. видно, что проба подземных вод подпорожско-осташковского межморенного водоносного горизонта не соответствует санитарно-гигиеническим требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 по следующим показателям: общая минерализация, массовая концентрация аммиака (по азоту) (верхняя граница ПДК); массовая концентрация железа общего (выше ПДК до 3,5 раз), натрий, хлориды (до 1,4 ПДК), мутность (до 4,5 ПДК по скважине №2), барий (до 1,7 ПДК по скважине №2), бор (верхняя граница ПДК по



скважине №2). Все эти компоненты (за исключением иона аммония) являются природным фактором и могут быть исключены в процессе водоподготовки.

Повышенное содержание аммиака в водах межморенного водоносного горизонта носит техногенный (антропогенный) характер. Превышение ПДК по мутности на скважинах связано с наличием коллоидной взвеси трехвалентного железа, которая формируется за счет окисления двухвалентной формы. В момент откачки помутнения воды не отмечалось. Повышенная минерализация, щелочная реакция среды, хлоридно-натриевый состав при низком содержании сульфатов, присутствие характерных элементов (бор, барий, фтор) говорит о восходящем перетекании напорных вод вендского водоносного комплекса через трещиновато-блочную среду вендских глин высокой степени литификации, залегающих ниже по разрезу. Этот частный случай объясняется залеганием межморенного водоносного горизонта в пределах погребённой долины, где мощность нижележащего водоупора вендских глин значительно ниже. Прогнозирование изменения химического состава целевого водоносного горизонта в данном случае проблематично, т.к. зависит от множества факторов (степень вскрытия целевого пласта, геометрия и глубина погребённой долины на территории будущего водозабора, мощность и степень дезинтегрированности водоупорных вендских глин непосредственно в пределах будущего водозабора и др.). О пёстрой гидрохимической обстановке межморенного водоносного горизонта говорит изменяющаяся по площади минерализация вод. Таким образом, при использовании целевого водоносного горизонта следует вести контроль качества на протяжении всего периода эксплуатации, о чем сказано ниже.

По микробиологическим показателям воды здоровые и соответствуют требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01.

По радиологическим показателям в водах межморенного водоносного горизонта по скважине №2 выявлено превышение уровней вмешательства по  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицам. В связи с этим были выполнены развёрнутые радиологические исследования проб из скважин №1 и №2, которые показали безопасность воды в соответствии с критериями НРБ-99/2009 по скважине №1 и значения на верхней границе уровня вмешательства по скважине №2 (Таблица 4.1).

**Таблица 4.1**

**Результаты аналитических исследований проб воды**

Нормируемый компонент	Ед. изм.	ПДК	Содержание Скв. №1	Содержание Скв. №2
1	2	3	5	6
<b>Обобщённые показатели</b>				
Водородный показатель	pH	6-9	8,2±0,2	8,10±0,20
Сухой остаток	мг/дм <sup>3</sup>	1000	966±87	1250±110
Жёсткость	ммоль/дм <sup>3</sup>	7	3,0±0,5	4,3±0,6

Окисляемость перманганатная	мгО/дм <sup>3</sup>	5	6,4±0,1	3,7±0,4
Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,018±0,006	0,021±0,007
ПАВ, АПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	<0,025	<0,025
Фенольный индекс	мг/дм <sup>3</sup>	0,25	0,049±0,008	<0,0005
<b>Неорганические вещества</b>				
Бор	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,41±0,07	0,57±0,10
Барий	мг/дм <sup>3</sup>	0,7	0,80±0,12	1,2±0,4
Бром	мг/дм <sup>3</sup>	1,35		
Бериллий	мг/дм <sup>3</sup>	0,0002	<0,0001	<0,0001
Гидрокарбонаты	мг/дм <sup>3</sup>	-	497±60	520±60
Двуокись углерода	мг/дм <sup>3</sup>	-		
Железо	мг/дм <sup>3</sup>	0,3	0,75±0,11	0,66±0,15
Кадмий	мг/дм <sup>3</sup>	0,001	<0,0001	0,00020±0,00010
Калий	мг/дм <sup>3</sup>	-	8,5±1,4	7,3±1,0
Кальций	мг/дм <sup>3</sup>	-	35±6	48±5
Кобальт	мг/дм <sup>3</sup>	0,01		
Кремний	мг/дм <sup>3</sup>	10		
Литий	мг/дм <sup>3</sup>	0,03		
Магний	мг/дм <sup>3</sup>	-	15,8±2,4	23,9±2,4
Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,026±0,008	0,036±0,011
Молибден	мг/дм <sup>3</sup>	0,07	<0,001	0,0024±0,0008
Медь	мг/дм <sup>3</sup>	1,0	<0,001	<0,01
Мышьяк	мг/дм <sup>3</sup>	0,05	<0,005	<0,005
Натрий	мг/дм <sup>3</sup>	200	295±30	410±40
Никель	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,018±0,006	<0,001
Нитраты	мг/дм <sup>3</sup>	45,0	6,7±0,1	<0,2
Нитриты	мг/дм <sup>3</sup>	3,0	<0,003	<0,2
Азот аммиака и иона аммония	мг/дм <sup>3</sup>	1,5 по азоту	1,6±0,3	<0,5
Алюминий	мг/дм <sup>3</sup>	0,2	0,033±0,011	0,054±0,022
Ртуть	мг/дм <sup>3</sup>	0,0005	<0,00001	
Рубидий	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	<0,1	<0,1
Свинец	мг/дм <sup>3</sup>	0,03	<0,003	<0,001
Селен	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	<0,005	<0,002
Стронций	мг/дм <sup>3</sup>	7,0	0,41±0,08	
Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	500	<2,0	0,50±0,10
Фосфаты (по PO <sub>4</sub> )	мг/дм <sup>3</sup>	3,5		
Фторид-ион	мг/дм <sup>3</sup>	1,5	1,2±0,1	1,14±0,11
Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	350	375±56	480±50
Хром	мг/дм <sup>3</sup>	0,05	<0,005	<0,005
Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	5,0	<0,005	<0,004
Цианиды	мг/дм <sup>3</sup>	0,07		
Сероводород (по H <sub>2</sub> S)	мг/дм <sup>3</sup>	0,05		
<b>Органические вещества</b>				
Гамма-ГХЦГ (линдан)	мг/дм <sup>3</sup>	0,002	<0,00001	<0,00001
ДДТ (сумма изомеров)	мг/дм <sup>3</sup>	0,002	<0,00001	<0,00001
2,4Д кислота, ее соли и эфиры	мг/дм <sup>3</sup>	0,03	<0,0002	<0,0001
<b>Органолептические свойства</b>				
Запах	балл	2	0	0

Цветность	градус	20	10,4±2,1	8,3±2,5
Мутность	мг/дм <sup>3</sup> ЕМ Ф	1,5	2,3±0,5	6,8±1,4
<b>Общая радиоактивность</b>				
Удельная суммарная альфа-активность (A <sub>α</sub> )	Бк/кг	0,2	<0,05	<3,0
Удельная суммарная альфа-активность (A <sub>β</sub> )	Бк/кг	1,0	0,64±0,18	<1,9
Радий-226	Бк/кг	0,49	<0,05	0,33±0,05
Радий-228	Бк/кг	0,20	0,08±0,04	0,048±0,015
Свинец-210	Бк/кг	0,20	<0,05	0,021±0,010
Полоний-210	Бк/кг	0,11	<0,04	0,007±0,002
Радон-222	Бк/кг	60	<3,0	<3
Σ(Ai/YBi)		1,0	0,22	1,09±0,14
<b>Микробиологические показатели</b>				
Общее микробное число	КОЕ/1мл	<50	0	0
Общие колиформные бактерии	КОЕ/100 мл	отсутствие	не обнаружено	не обнаружено
Термотолерантные колиформные бактерии	КОЕ/100 мл	отсутствие	не обнаружено	не обнаружено

■ - превышения нормативных уровней

\* ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования»

\*\* НРБ-99/2009 (СанПиН 2.6.1.2523-09) «Нормы радиационной безопасности»

На основании данных ранее проведенных работ и общей гидрохимической ситуации по рассматриваемому району можно установить следующее: превышение ПДК по общей минерализации, содержанию железа, хлоридов, натрия и бария являются систематическими. Превышения по железу, хлоридам и натрию относятся к особенностям формирования химического состава целевого водоносного горизонта. Также может наблюдаться превышение ПДК по иону-аммония ввиду наличия в районе сельских поселений и других антропогенных факторов.

Превышения уровней вмешательства по радионуклидам носит периодический характер и связано с активизацией и затуханием циклических процессов, происходящих в мантии и миграции радионуклидов из нижележащих высокоминерализованных напорных вод вендского водоносного комплекса и архей-протерозойской водоносной зоны. В соответствии с этим, необходимо выполнять контроль за изменением радиоактивного фона в целевом водоносном горизонте по сезонам года.

Таким образом, при эксплуатации межморенного водоносного горизонта следует уделять пристальное внимание контролю качества воды, добываемой из скважин. Кроме того, для использования воды в хозяйственно-питьевых целях, требуется предусмотреть её

предварительную водоподготовку, используя метод обратного осмоса (установка ПВО-RO-4), которая гарантирует доведение качества воды до норм, регламентируемых СанПиН 2.1.4.1074-01. Здесь необходимо отметить, что общепринятое обезжелезивание вод способствует частичному удалению ряда тяжёлых металлов и других микроэлементов ввиду сорбционной ёмкости ионов трёхвалентного железа и их способности к комплексообразованию. Регламент наблюдений за качеством воды должен соблюдаться в соответствии с программой производственного контроля.

#### **4.2. Санитарная обстановка участка работ**

По данным обследования территории участка установлено, что санитарно-экологическая обстановка в пределах участка работ и на прилегающей территории, в целом, благоприятная. На всей части обследованной территории она соответствует естественному состоянию природной среды. Большая часть территории участка залесена, на смежных площадях частично слабо заболочена. Ближайшим техногенным объектом может являться будущая площадка КС «Славянская». Техногенные нарушения на площадке КС «Славянская» будут связаны с прокладкой наземных и подземных коммуникаций и автодорог для обеспечения технологических процессов и жизнедеятельности персонала. Остальная территория КС «Славянская» и сопредельная к ней представляет собой естественный ландшафт – преимущественно хвойно-лиственные леса, чередующиеся с заболоченными участками.

Возможным источником загрязнения подземных вод могут служить мелиоративные и сельскохозяйственные угодья, которые создают угрозу проникновения загрязняющих веществ в намеченный водоносный горизонт при использовании естественных удобрений в почвах во время сельхозработ. Косвенным подтверждением этого факта является повышенное содержание иона-аммония и пограничное значение перманганатной окисляемости в пробе воды из поисково-оценочной скважины №1.

В целом, местоположение водозаборной площадки благоприятное и не вызывает затруднений при организации зоны санитарной охраны источника водоснабжения. В пределах расчетных I, II и III поясов ЗСО строительство объектов, оказывающих негативное влияние на природные объекты и запрещённых к эксплуатации, не планируется.

Стихийных свалок, складов горюче-смазочных материалов, других водозаборных скважин и иных потенциальных источников загрязнения подземных вод на данный момент нет, что создает благоприятные условия для организации зон ЗСО водозабора хозяйственно-питьевого назначения.

### **4.3. Обоснование границ поясов зоны санитарной охраны на участке будущего водозабора**

#### **4.3.1. Обоснование зоны санитарной охраны**

Согласно Санитарных правил и Норм (СанПиН 2.1.4.1110-02) «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения», утверждённых Главным государственным санитарным врачом РФ и введённые в действие с 1 июня 2002 г. зона санитарной охраны (ЗСО) организуется в составе трёх поясов: первый пояс – строгого санитарного режима, второй пояс – защиты от бактериального загрязнения и третий пояс – защиты от химического загрязнения подземных вод.

Первый пояс (строгого режима) включает территорию расположения водозаборной скважины. Его назначение – защита водозабора от случайного или умышленного загрязнения и повреждения.

Второй и третий пояса (ограничений) включают прилегающую к водозабору территорию и предназначены для предупреждения загрязнения воды источников водоснабжения от микробного и химического загрязнения соответственно.

Границы пояса строгого режима устанавливаются нормативно в зависимости от условий защищённости источника водоснабжения. Плановые размеры зон ограничений определяются гидродинамическими расчетами с учётом гидрогеологических условий участка расположения водозаборных скважин и контрольного времени движения частиц загрязненной жидкости от границ зоны до водозабора ( $T_i$ ). Расположение границ второго и третьего поясов ЗСО определяется исходя из условий, что если за пределами пояса в водоносный горизонт поступит бактериологическое ( $R_2$ ) или химическое ( $R_3$ ) загрязнение, то оно, перемещаясь с подземными водами, не сможет достигнуть водозабора, или дойдет до него, но не раньше контрольного времени. Значения контрольного времени принимаются исходя из времени выживаемости бактерий ( $T_2$ ), или времени эксплуатации водозабора ( $T_3$ ).

Продуктивный напорный пласт (подпорожско-осташковский межморенный водоносный горизонт) залегает на участке проектируемого водозабора в интервале от 69,7-72,8 м до 80,0-85,0 м. Он перекрыт с поверхности комплексом песчано-глинистых отложений. Над кровлей пласта залегает водоупорный слой суглинков с включениями гравия и гальки суммарной мощностью порядка 51,0 м, теоретически защищающий его от проникновения поверхностного загрязнения и от непосредственной гидравлической связи с поверхностными и грунтовыми водами.

В связи с изолированностью продуктивного пласта и залеганием его кровли на глубине 69,7-72,8 м под суглинистыми водоупорными отложениями, подземные воды



горизонта могут рассматриваться как защищенные. Однако, пробы воды из подпорожско-осташковского межморенного водоносного горизонта показывают наличие в них иона-аммония, что говорит о поступлении загрязнителя вследствие антропогенного фактора. Таким образом, рекомендуется рассматривать данный продуктивный водоносный пласт как незащищенный. Кроме того, наличие в водоупорной толще большого количества включений (более 20%) предопределяет неоднородность водоупора и вероятность проникновения поверхностных загрязнителей в воды горизонта. Таким образом, при использовании незащищенных подземных вод *граница первого пояса* строгого режима устанавливается на расстоянии не менее 50 метров от водозаборной скважины.

В соответствии с «Рекомендациями по гидрогеологическим расчётам для определения границ 2 и 3 поясов ЗСО подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения», размеры зон ограничений, в условиях незначительных уклонов пьезометрической поверхности и скорости движения естественного потока подземных вод, могут быть определены в виде круговых контуров по формуле:

$$R_i = \sqrt{\frac{Q \cdot T_i}{\pi \cdot m \cdot \mu}}, \quad (4.3)$$

где  $Q$  – средняя производительность водозабора, м<sup>3</sup>/сутки;  
 $T_i$  – значение контрольного времени, сутки;  
 $m$  – эффективная мощность водоносного горизонта, м;  
 $\mu$  – активная пористость водовмещающих пород;  
 $R_i$  – радиус соответствующей зоны ЗСО, м.

Средняя мощность песчаных прослоев подпорожско-осташковского межморенного водоносного горизонта в пределах изучаемой площадки составляет порядка 11,0 метров. За активную пористость водовмещающих пород примем минимальную табличную пористость мелких и пылеватых песков с глинистыми прослоями, составляющую 15 %. Значения исходных параметров, принятых для выполнения расчётов, сведены в таблицу 4.2.

**Таблица 4.2**

Значения исходных параметров для расчёта границ ЗСО

Исходные параметры	Принятые значения
Эффективная мощность водоносного горизонта, $m$ (м)	11,0
Активная пористость водовмещающих пород, $\mu$	0,15
Средняя производительность водозабора, $Q$ (м <sup>3</sup> /сут)	86,0
Значение контрольного времени, $T_2$ (сут)	400
Значение контрольного времени, $T_3$ (сут)	10 000

Определим радиус второй и третьей зоны ЗСО  $R_2$  и  $R_3$  для условий поступления загрязнения к скважине по пласту. При подстановке в формулу 4.3 значений соответствующих параметров, получим следующие искомые величины (округленно):

- радиус второго пояса зоны санитарной охраны  $R_2 = 82$  м;
- радиус третьего пояса зоны санитарной охраны  $R_3 = 407$  м.

Таким образом, источники бактериологического загрязнения должны быть удалены от водозабора на расстоянии не менее 82 м, химического – на расстоянии не менее 407 м.

Организация зон санитарной охраны с выполнением природоохранных мероприятий и соблюдением регламента хозяйственной деятельности, в пределах границ ЗСО, направлены на предотвращение загрязнения земной поверхности и возможности проникновения загрязнения в эксплуатируемый водоносный комплекс. Благоустройство площадок размещения водозаборных скважин приведет к улучшению экологической обстановки.

По СанПиН 2.1.4.1110-02 санитарные мероприятия в пределах первого пояса ЗСО должны выполняться владельцами водозабора, в пределах второго и третьего поясов ЗСО – владельцами объектов оказывающих (или могущих оказать) отрицательное влияние на качество воды источника водоснабжения.

По данным обследования территории участка установлено, что санитарно-экологическая обстановка в пределах участка работ и на прилегающей территории, в целом, благоприятная. На большей части обследованной территории она соответствует естественному состоянию природной среды. В целом, в пределах определённых расчётом границ ЗСО, объекты, запрещённые СанПиН 2.1.4.1110-02 к размещению в их пределах и потенциальные источники загрязнения подземных вод отсутствуют. Таким образом, возможность создания зон санитарной охраны подземного источника водоснабжения имеется и не вызовет осложнений. Границы всех трёх поясов ЗСО отображены на Рис. 7.2. План подсчёта запасов.

#### **4.3.2. Основные мероприятия на территории ЗСО**

В пределах I пояса ЗСО санитарные мероприятия должны выполняться водопользователем, в пределах II и III поясов – владельцами объектов, оказывающих (или могущих оказать) негативное влияние на качество подземных вод. Мероприятия указываются для каждого пояса отдельно согласно геолого-гидрогеологической обстановки в рассматриваемом районе.

Целью мероприятий является сохранение постоянства природного состава природных вод на водозаборе путем устранения и предупреждения возможности их загрязнения.

Контроль над качеством подземных вод должен проводиться с периодичностью, установленной органами Государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

Основными мероприятиями на территории ЗСО являются:

По I поясу:

- Территория I пояса ЗСО должна быть спланирована для отвода поверхностного стока за ее пределы, озеленена, ограждена и обеспечена охраной. Дорожки к сооружениям должны иметь твердое покрытие.

- Не допускается посадка высокоствольных деревьев.

- Запрещаются все виды строительства, не имеющие непосредственного отношения к эксплуатации водопроводных сооружений, размещение жилых и хозяйственно-бытовых зданий, проживание людей, применение ядохимикатов и удобрений.

- Строгое соблюдение санитарно-технических требований к конструкции скважин (оголовка, устья, затрубного пространства и др.).

- Все водозаборы должны быть оборудованы аппаратурой для систематического контроля фактического дебита при эксплуатации скважины.

По II и III поясам:

- Запрещается размещение кладбищ, скотомогильников, полей ассенизации, полей фильтрации, навозохранилищ, силосных траншей, животноводческих предприятий и других объектов, обуславливающих бактериальное загрязнение.

- Выявление, ликвидация (тампонаж) или восстановление всех старых, бездействующих, дефектных скважин.

- Бурение новых скважин производится в строгом соответствии с действующим законодательством и нормативными документами.

- Запрет на размещение складов ГСМ, ядохимикатов и минеральных удобрений и других объектов, обуславливающих возможность химического загрязнения ПВ.

## Глава 5 ПРИРОДНАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УЧАСТКА РАБОТ

### 5.1. Геолого-структурная характеристика участка работ

Рассматриваемая территория относится к северо-западной части Русской плиты в зоне ее сочленения с Балтийским щитом. Нижний структурный этаж представлен кристаллическим фундаментом, структуры которого принадлежат северной части Новгородского блока. Осадочный чехол, образующий верхний структурный этаж, относится к Балтийской моноклинали северо-западного крыла Московской синеклизы.

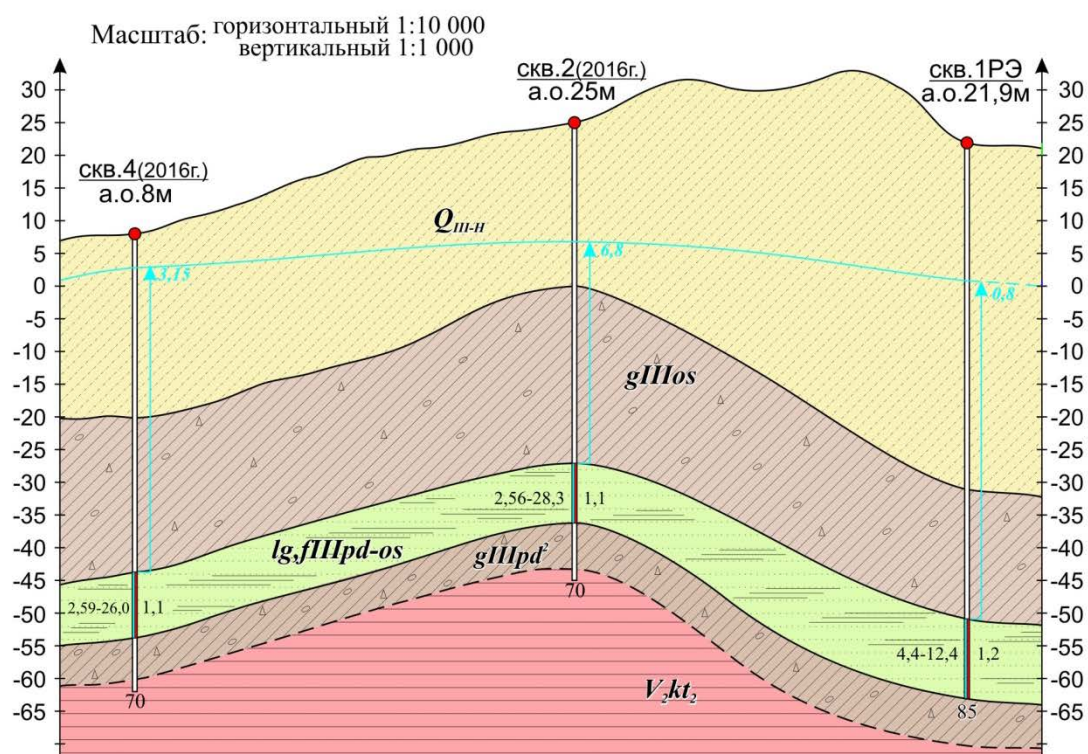
В геолого-структурном отношении изучаемый участок работ расположен на северо-западном крыле Московской синеклизы, характеризующемся развитием полого погружающейся на юго-восток осадочной толщи вендских и палеозойских отложений (юго-восточнее участка работ). Основанием осадочному чехлу служит фундамент архей-протерозойских кристаллических пород.

В строении осадочной толщи рассматриваемого участка принимают участие вендские отложения и комплекс пород четвертичного возраста.

Обоснование модели участка работ ограничивается глубиной её изучения (до 90 м).

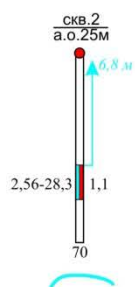
Разрез участка работ (Рис. 5.1) на глубину ее изучения метров представлен четвертичной толщей переслаивания песчано-глинистых разностей верхнего плейстоцена и голоцена. В толще четвертичных отложений выделяются 2 слоя моренных образований осташковского (в интервале 43-72 м) и московского (в интервале 80-90 метров) возрастов, между которыми заключён перспективный подпорожско-осташковский водоносный горизонт, представленный мелкозернистыми песками. Моренные отложения сложены плотными суглинками с включениями гравия и гальки 20-25% и единичными включениями валунов в верхнем слое. Четвертичная толща осложнена развитием глубоких палеодолин в рассматриваемом районе. Участок работ находится на одном из бортов такой палеодолины, простирающейся с северо-запада на юго-восток.

### Схематический геолого-гидрогеологический разрез



#### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$Q_{m-n}$	водоносный комплекс верхнечетвертичных отложений (нерасчлененный): переслаивание песков, супесей и суглинков
$g_{IIIos}$	осташковский моренный относительно водоупорный горизонт
$lg,f_{IIIpd-os}$	подпорожско-осташковский водоносный горизонт (пески с глинистыми прослоями)
$g_{IIIpd'}$	подпорожский моренный относительно водоупорный горизонт
$V_2kt_2$	верхнекотлинский водоупорный горизонт (глины)



#### Гидрогеологическая скважина

цифра сверху - номер скважины;  
абс. отм. устья, м;  
внизу - глубина скважины, м;  
Синяя стрелка соответствует напору подземных вод,  
цифра у стрелки - абсолютная отметка пьезометрического  
уровня, м; цифры слева: дебит, л/с - понижение, м;  
справа - минерализация воды, г/дм³;  
Закраска соответствует химическому составу  
подземных вод в опробованном интервале:  
■ - гидрокарбонатный ■ - хлоридный

пьезометрический уровень подземных вод  
подпорожско-осташковского водоносного горизонта

Рис. 5.1. Схематический геолого-гидрогеологический разрез



## 5.2. Гидрогеологическая модель участка

Объект оценки запасов (КС «Славянская») расположен в Северо-Западной части Ленинградского артезианского бассейна III-го порядка, являющегося в свою очередь частью Московского артезианского бассейна II-го порядка. Региональным базисом дренирования является Финский залив, а областью питания водоносных подразделений – Ижорская возвышенность с мощной зоной аэрации и активным карстом.

Гидрогеологические условия участка (до глубины 90 метров) характеризуются наличием в разрезе осадочной толщи 2-х водоносных горизонтов, которые (верхнеплейстоцен-голоценовый ВК и подпорожско-осташковский ВГ) приурочены к четвертичному возрасту. Перспективный подпорожско-осташковский межморенный водоносный горизонт, продуктивная пачка которого залегает в интервале от 69,7-72,8 м до 80,0-85,0 м, представлена песками мелкозернистыми.

Условия залегания подпорожско-осташковского водоносного горизонта в пределах рассматриваемого участка и прилегающих территорий позволяют отнести его к неограниченному в плане (приведенный радиус влияния водозабора за период 1 суток при работе в режиме восполнения противопожарного запаса с максимальной производительностью  $2610 \text{ м}^3/\text{сут}$  составляет  $R = 1.5\sqrt{at} = 474 \text{ м}$ , что значительно меньше расстояния до ближайшей границы распространения водоносного горизонта, - ближайшая граница выклинивания пласта западнее участка расположена в 3,1 км, восточная – в 2 км, что позволяет совершенно справедливо схематизировать пласт как неограниченный) и изолированному в разрезе напорному пласту (горизонт заключён между глинистыми пластами, выделенными в соответствии с гидрогеологической стратификацией в региональные водоупоры). Это определяет существо гидрогеологической модели, где водонасыщенная толща межморенного водоносного горизонта залегает на глубине 69,7-72,8 м, мощностью 10,3-12,2 м, содержит напорную воду, пьезометрический уровень которой на момент опробования находится на глубине 19,0-21,1 м от уровня дневной поверхности, перекрывается чередованием слабопроницаемых (водоупорных) и водонасыщенных пород. Мощность водоупорной глинистой толщи, залегающей выше кровли водоносного горизонта, составляет порядка 45-51 метров. В подошве продуктивного пласта залегают плотные водоупорные моренные суглинки (региональный водоупор в четвертичной толще), мощностью 3-5 м, подстилающиеся аргиллитоподобными плотными глинами верхнего венда, являющиеся региональным водоупором в соответствии с гидрогеологической стратификацией разреза ленинградского артезианского бассейна.

Питание горизонта инфильтрационное (преимущественно за счёт атмосферных осадков), осуществляется далеко за пределами участка работ. Разгрузка осуществляется в бортах и днищах долин рек, в местах выхода его на поверхность, а также в зонах, где мощность водоупорной толщи минимальна или отсутствует – за счёт вертикального перетекания в вышележащие водоносные горизонты при условии соотношения напоров. Общее направление потока подземных вод северо-западное и направлено в сторону регионального базиса дренирования - Финского залива. Уклон потока составляет небольшую величину 0,00125 (по данным изысканий 2016 года).

Участок работ, в соответствии с действующей классификацией («Классификация запасов и прогнозных ресурсов ...»), можно отнести к месторождениям со сложным строением геофильтрационного разреза, расположенным в пределах погребённых долин (группа по сложности гидрогеологических условий – II). Основными составляющими формирования запасов подземных вод будут являться естественные ресурсы.

Гидродинамический режим подземных вод в ходе проведения поисково-оценочных работ не изучался.

Исходя из всего вышесказанного, для оцениваемого межморенного водоносного горизонта принимается гидрогеологическая модель неограниченного в плане и изолированного в разрезе напорного пласта (Рис. 3.19).

## Глава 6 ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

### 6.1. Общие положения и принципы подсчёта запасов

В качестве основного источника для водоснабжения объекта «КС Славянская» за счёт подземных вод был выбран подпорожско-осташковский межморенный водоносный горизонт (lg,fШpd-os), содержащий солоноватую подземную воду минерализацией 1,24-1,49 г/дм<sup>3</sup>. В пределах изучаемой глубины разреза и территории, на участке намеченного водозабора, является наиболее водообильным из выделенных в разрезе участка водоносных горизонтов. Интересующий нас водоносный пласт залегает в пределах погребенной долины, заполненной четвертичными осадками, имеет сложный характер залегания в разрезе (кровля водоносного горизонта залегает в интервалах глубин 52,0-73,0 м), невыдержанную мощность (от 8,2 до 13,0 м), неоднородный состав водовмещающих пород (пески с прослоями супесей, суглинков и глин в различном процентном отношении), изменчивость фильтрационных свойств пород по площади и по глубине, нестабильный химический состав подземных вод. Участок работ, в соответствии с действующей классификацией («Классификация запасов и прогнозных ресурсов ...»), относится к месторождениям со сложным строением геофильтрационного разреза, расположенным в пределах погребенных долин – группа по сложности гидрогеологических условий – II.

В соответствии с техническим (геологическим) заданием и расчетом водопотребления, для обеспечения объекта водой, требуется оценить запасы подземных вод межморенного водоносного горизонта в количестве 86 м<sup>3</sup>/сут по категории С1 (средневзвешенная по году водопотребность), в т.ч. на хозяйственно-питьевые и производственные нужды – 78,5 м<sup>3</sup>/сут, для восполнения противопожарного запаса – 2610 м<sup>3</sup>/сут однократно.

Результаты опробования межморенного водоносного горизонта показали, что требуемое количество воды *для нужд хозяйственно-питьевого водоснабжения* может быть получено путем эксплуатации одной скважины при данной конструкции и определенных расчетных параметрах (фактический дебит при опытной откачке превышал значение заявленной водопотребности в 4,9 раз).

Исходя из результатов выполненных опытно-фильтрационных работ, когда опытная откачка с дебитом, превышающим потребность объекта в воде, была проведена в условиях

установившегося движения, основным методом подсчета запасов для проектируемой скважины, аналогичной по конструкции с опытной, может являться гидравлический метод.

Для расчета прогнозного понижения будет выполнен также гидродинамический расчет с использованием гидрогеологических параметров, полученных при интерпретации данных опытно-фильтрационных работ.

Основной принцип при подсчете запасов гидравлическим методом сводится к интерполяции понижения в водозаборной скважине при её работе с эксплуатационным дебитом. В основе определения эксплуатационного понижения лежит графоаналитический метод построения кривой зависимости дебита от понижения:  $Q=f(S)$ . На графике по оси  $x$  откладываются значения полученных в ходе откачек из скважины дебитов  $Q_1$  и  $Q_2$  (л/с); по оси  $y$  – величины соответствующих понижений  $S_1$  и  $S_2$ .

Основным принципом гидродинамического расчета является определение максимального прогнозного понижения в скважинах и сравнение полученного значения с допустимым понижением.

Исходя из систематизации гидрогеологических условий и принятой гидрогеологической модели участка (напорный неограниченный в плане изолированный в разрезе пласт), зависимость для определения расчетного понижения уровня на 25-летний срок эксплуатации водозабора описывается зависимостью Джейкоба-Тейса:

$$S_p = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2,25a^* t}{r_c^2}, \quad (6.1)$$

где  $S_p$  – расчетное понижение уровня воды в скважине на конечный срок эксплуатации, м;

$Q$  – дебит скважины, м<sup>3</sup>/сут;

$T$  – коэффициент водопроницаемости, м<sup>2</sup>/сут;

$a^*$  – коэффициент пьезопроводности, м<sup>2</sup>/сут;

$t$  – расчетное время эксплуатации водозабора, сут;

$r_c$  – радиус водоприемной части скважины, м.

Основными расчетными гидрогеологическими параметрами для подсчета запасов являются: допустимое понижение уровня, коэффициент водопроницаемости, а также фактические данные результатов опытно-фильтрационных работ (дебит и понижение).

## 6.2. Обоснование расчётных гидрогеологических параметров

Проведенные опытно-фильтрационные работы позволили определить основные параметры подпорожско-осташковского водоносного горизонта непосредственно на участке работ и провести сравнительную характеристику с данными, полученными нами в 2016 г. на смежной территории.

Результаты определений сведены в таблицу ниже.

Таблица 6.1

Результаты опытно-фильтрационных работ		
S <sub>доп</sub> , м	Коэффициент водопроницаемости, T, м <sup>2</sup> /сут	Коэффициент пьезопроводности, a*, м <sup>2</sup> /сут
	S-Ig(t) (усредненный)	
47,7	33,7	10 <sup>5</sup>

Коэффициент водопроницаемости (T, м<sup>2</sup>/сут) определялся графоаналитическим методом по данным снижения уровня в процессе опытной откачки по графику временного прослеживания S-Ig(t). В качестве принятого для подсчета запасов значения коэффициента водопроницаемости, возьмём усредненную величину, определенную на основании данных текущих опытно-фильтрационных работ и работ, проведенных в 2016 году на смежном участке. Принятая в расчет величина чуть ниже значений, определенных другими способами (графически по графику временного прослеживания и аналитически по формуле Дюпюи), что дает небольшой запас прочности при подсчете запасов. В целом, сходимость результатов, определенных различными способами, достаточно высока.

Коэффициент пьезопроводности (a\*, м<sup>2</sup>/сут) определялся на основании справочных, архивных и теоретических данных.

Допустимое понижение уровня подземных вод (S<sub>доп</sub>, м) на водозаборном участке для напорного межморенного водоносного горизонта принимается в пределах величины напора подземных вод над кровлей водоносного пласта за вычетом технических характеристик насоса (2 м) и сезонного колебания уровня (1-2 м). Таким образом, величина допустимого понижения для будущего водозаборного участка принимается равной:

$$S_{\text{доп}} = 51,7\text{м} - 2\text{м} - 2\text{м} = 47,7\text{ м}$$

Параметры, принятые для подсчёта запасов сведены в таблицу ниже.

Таблица 6.2

Значения, принятые для подсчёта запасов	
Исходные параметры	Принятые значения
Наименование водоносного горизонта	Подпорожско-осташковский ВГ
Коэффициент водопроницаемости, T (м <sup>2</sup> /сут)	33,7
Допустимое понижение уровня, S <sub>доп</sub> (м)	47,7
Коэффициент пьезопроводности, a*, (м <sup>2</sup> /сут)	10 <sup>5</sup>
Дебит водозабора, Q <sub>ср.взв.</sub> (м <sup>3</sup> /сут)	86,0



## Глава 7 Подсчёт запасов подземных вод

### 7.1. Оценка запасов подземных вод

Как уже было упомянуто ранее, хозяйственно-питьевое водоснабжение объекта в количестве  $86 \text{ м}^3/\text{сут}$  может быть обеспечено работой одной водозаборной скважины, расположенной в пределах участка работ.

Подсчет запасов выполнен для условно запроектированной водозаборной скважины, глубиной  $86,0 \text{ м}$  с заглублением в плотные нижележащие суглинки и глины, с установкой фильтра на полную мощность с диаметром водоприемной части  $168 \text{ мм}$ . Водозабор будет работать постоянно в штатном режиме.

#### *Гидравлический метод*

Подсчет запасов гидравлическим методом осуществлялся на основе данных опытной одиночной откачки из скважины №2 (с дебитом  $380,16 \text{ м}^3/\text{сут}$  или  $4,4 \text{ л/с}$  при понижении  $12,42 \text{ м}$ ). Дебит при откачках превосходил величину заявленной водопотребности в  $4,9$  раз. На основании этих данных был построен график кривой дебита, по которой вычислялось прогнозное понижение уровня при работе скважины с заявленным дебитом в  $86 \text{ м}^3/\text{сут}$  ( $0,99 \text{ л/с}$ ). Результаты определения отображены на рисунке 7.1.

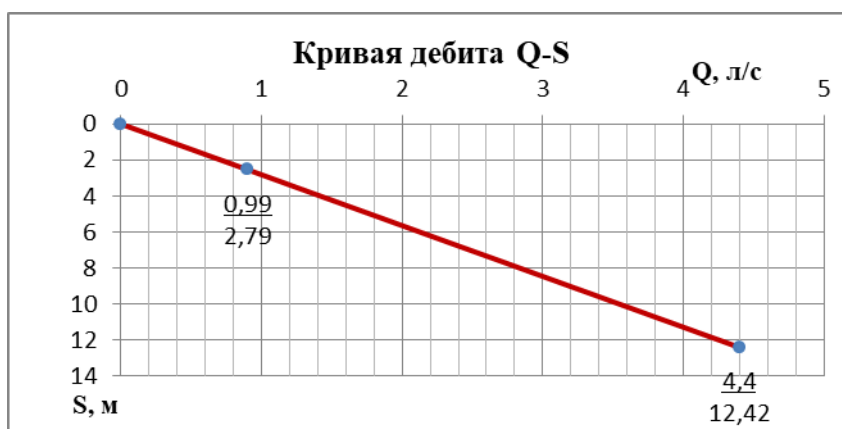


Рис. 7.1. График зависимости  $Q$  от  $S$

По зависимости  $S_3 = (Q_3 \cdot S_{\text{отк}}) / Q_{\text{отк}}$  было определено, что расчетное понижение ( $S_3$ ) при работе водозабора с постоянным дебитом ( $Q_3$ ), равным  $86 \text{ м}^3/\text{сут}$  ( $0,99 \text{ л/с}$ ), составит  $2,79$  метра, что много меньше допустимого понижения, принятого равным  $47,7 \text{ м}$ .

#### *Гидродинамический метод*

Подсчет запасов гидродинамическим методом осуществлялся на основании данных, полученных в ходе обработки опытно-фильтрационных работ, результаты которых, принятые к подсчету, сведены в таблицу 6.2. Расчетное понижение на конец срока эксплуатации водозабора ( $25$  лет) рассчитывалось на основе зависимости Джейкоба-Тейса.

Расчет производился для 2-х режимов: штатного – при работе водозабора с потребностью 86 м<sup>3</sup>/сут для хозяйственно-бытовых нужд и в режиме восполнения ППЗ, при однократном восполнении запаса в количестве 2610 м<sup>3</sup> в течение суток.

#### **При работе водозабора в штатном режиме:**

Подставив в формулу 6.1. соответствующие величины и принимая радиус водоприемной части скважины 0,168 м, получим следующее значение расчетного понижения:

$$S_p = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25at}{r_c^2} = \frac{86}{4 \cdot 3,14 \cdot 33,7} \ln \frac{2.25 \cdot 10^5 \cdot 10^4}{0.168^2} = 5,02 \text{ м}$$

Таким образом, величина максимального прогнозного понижения от работы скважины в штатном режиме составит  $S_p = 5,02$  м.

Величины прогнозного понижения, рассчитанные гидродинамическим и гидравлическим методами, составляют много меньше допустимого понижения в скважине, что свидетельствует об обеспеченности запасов проектного водозабора. Максимальное прогнозное понижение от работы водозабора получено с использованием гидродинамического метода.

Таким образом, на основании проведённых расчётов, запасы в количестве 86 м<sup>3</sup>/сут можно считать обеспеченными за счет естественных ресурсов.

#### **При работе водозабора в режиме ППЗ:**

Для обеспечения КС «Славянская» требуемым количеством воды для нужд ППЗ в объеме 2610 м<sup>3</sup> был условно запроектирован линейный водозаборный ряд, состоящий из 7 скважин, расположенных на расстоянии 70 м друг от друга и равно распределяющих нагрузку в 2610 м<sup>3</sup> между собой.

Расчетное понижение в наиболее нагруженной скважине (в центре водозаборного ряда) рассчитывалось на основе зависимости Джейкоба-Тейса:

$$\begin{aligned} S_p &= \frac{Qi}{4\pi T} \ln \frac{2.25at}{r_c^2} + \dots + \frac{Qi}{4\pi T} \ln \frac{2.25at}{r_p^2} = \\ &= \frac{385}{4 \cdot 3.14 \cdot 33.7} \ln \frac{2.25 \cdot 10^5 \cdot 1}{0.168^2} + 2 \left( \frac{385}{4 \cdot 3.14 \cdot 33.7} \ln \frac{2.25 \cdot 10^5 \cdot 1}{70^2} \right) \\ &+ 2 \left( \frac{385}{4 \cdot 3.14 \cdot 33.7} \ln \frac{2.25 \cdot 10^5 \cdot 1}{140^2} \right) + 2 \left( \frac{385}{4 \cdot 3.14 \cdot 33.7} \ln \frac{2.25 \cdot 10^5 \cdot 1}{210^2} \right) \\ &= 28,82 \text{ м} \end{aligned}$$

Таким образом, максимальное понижение от работы водозабора в режиме восполнения противопожарного запаса будет равняться 28,82 м.

Суммарное максимальное понижение от работы водозабора в штатном режиме и режиме ППЗ составит  $S_p = S_{ш} + S_{ППЗ} = 5,02 + 28,82 = 33,84$  м. Допустимое понижение уровня составляет 47,7 м.

При естественном уровне подземных вод, залегающем на глубине 21 м, глубина максимального динамического уровня в наиболее нагруженной скважине с учетом сезонного колебания уровня в меженный период составит 54,84-56,84 м.

## 7.2. Категоризация запасов подземных вод

Запасы в количестве 86 м<sup>3</sup>/сут по степени изученности отвечают категории С1.

- геолого-гидрогеологические, физико-географические, экологические и другие показатели изучены с детальностью, обеспечивающей создание природной гидрогеологической модели участка;

- расчетные параметры и показатели, принятые для подсчета запасов, определены по результатам бурения и опробования скважин (одиночные откачки) и геофизических исследований;

- запасы посчитаны применительно к скважинам, имеющим конструкцию, способную обеспечить добычу воды в заданном количестве;

- качество подземных вод изучено в достаточных объемах для установления соответствия нормативным требованиям для питьевого и хозяйственно-бытового использования, даны рекомендации по контролю качества при эксплуатации;

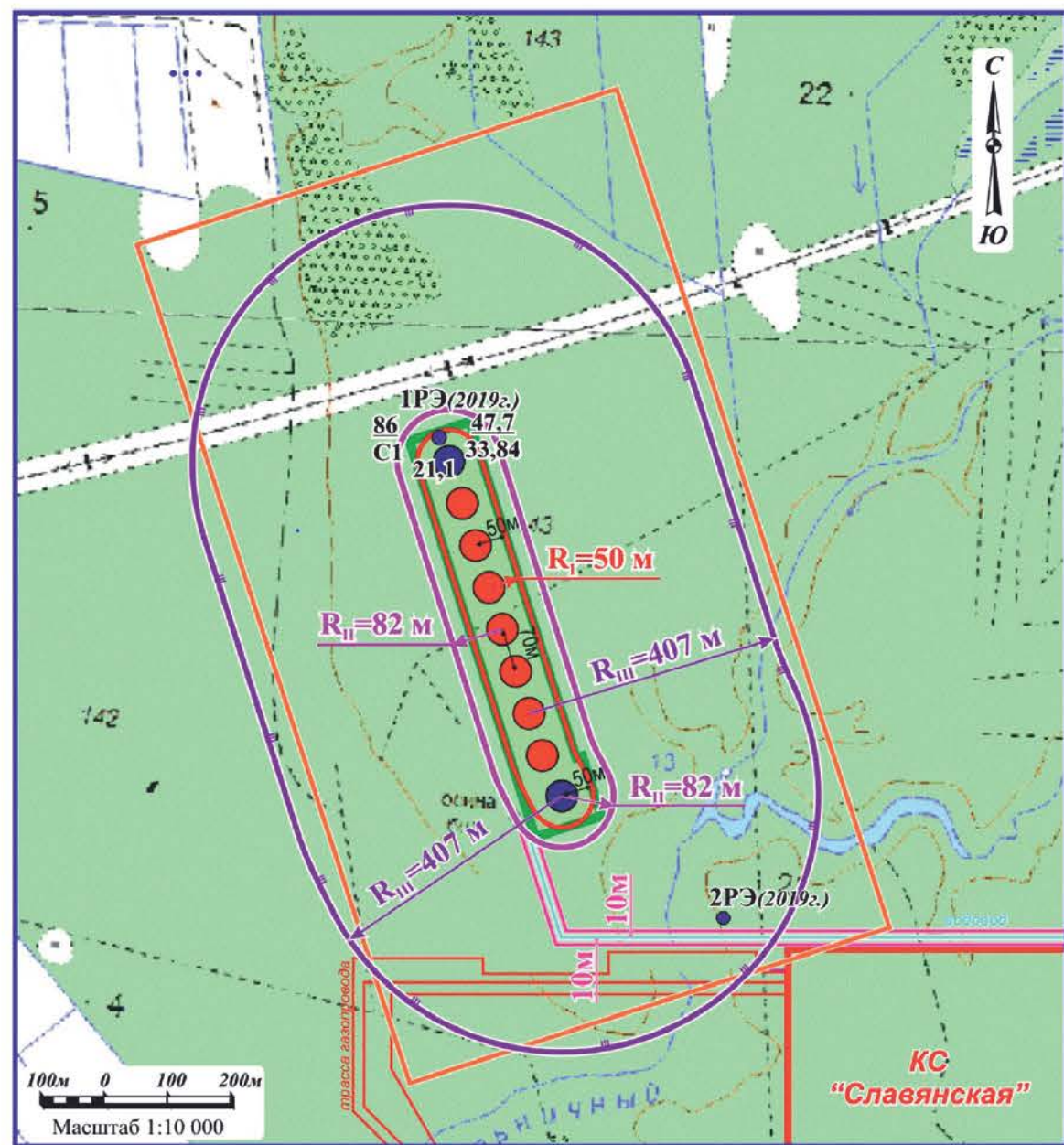
- произведён расчёт границ поясов зоны санитарной охраны будущего водозабора.

Таким образом, к утверждению предоставляются запасы подземных вод межморенного подпорожско-осташковского водоносного горизонта в количестве 86 м<sup>3</sup>/сут по категории С1 с возможностью однократного восполнения противопожарного запаса в количестве 2610 м<sup>3</sup>/сут.

Славянское месторождение подземных вод Подпорожско-осташковский межморенный водоносный горизонт	№ скв.	Запасы ПВ	Категория	Основание
	1РЭ, 2РЭ	86 м³/сут	C1	Гидродинамический расчет с использованием параметров, определенных по скважинам 1РЭ, 2РЭ. Опытные откачки из скв.: 1РЭ в установившемся режиме 380,16 м³/сут при S - 12,42 м, 2РЭ в установившемся режиме 190,08 м³/сут при S - 15,04 м.

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- - поисково-оценочная скважина
- сверху - номер
- слева: в числителе - запасы, м³/сут;  
в знаменателе - категория запасов;
- снизу - пьезометрический уровень, м;
- справа: в числителе - допустимое понижение  
уровня воды в скважине, м;  
в знаменателе - расчетное понижение  
на конец срока эксплуатации водозабора, м
- Уровень подземных вод
- а) статический на I кв. 2019 г. (21,1 м)
- б) прогнозируемый уровень на конечный срок эксплуатации водозабора по гидродинамическому расчету (54,94 м)
- - проектируемая эксплуатационная скважина;
- - проектируемая резервная скважина;
- - граница I пояса ЗСО;
- - граница II пояса ЗСО;
- - граница III пояса ЗСО;
- - площадка водозабора



Данный чертеж выпущен с использованием  
топографической карты масштаба 1:25 000,  
полученной ООО "Газпром проектирование"  
в ФГБУ "Центр геодезии, картографии и ИПД"  
по лицензионному договору №1997/2016 от 03.03.2016 г.  
© Картографическая основа. Росреестр, 2009

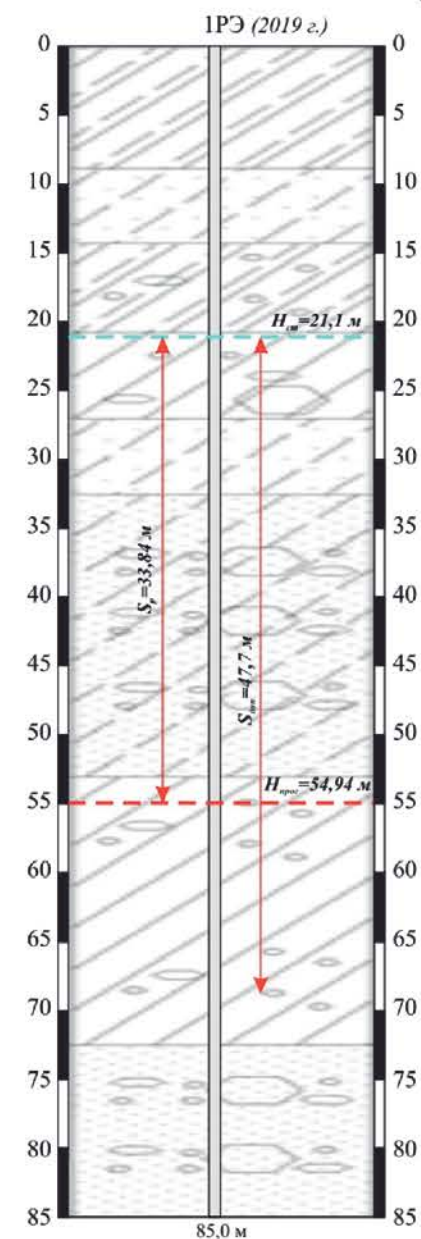


Рис. 7.2. План подсчёта запасов



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты гидрогеологического опробования и выполненный подсчёт запасов показали, что водоснабжение объекта «КС Славянская» должно быть организовано за счет подпорожско-осташковского водоносного горизонта путем эксплуатации семи скважин, расположенных на расстоянии 70 метров друг от друга в линейный ряд. Для организации бесперебойной подачи воды необходимо предусмотреть сооружение дополнительных 2-х скважин, которые будут выполнять функции резервных (согласно таб.5 СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»). Резервные скважины должны располагаться на расстоянии не менее 70 м от действующих. Исходя из геолого-гидрогеологического строения территории, заявленной потребности в воде, основных проектных характеристик рекомендуется бурение 7-ми скважин глубиной 85 м с проходкой водоносной продуктивной песчаной толщи на полную мощность с заглублением в подстилающие водоупорные породы. Конструкция скважин должна обеспечивать извлечение требуемого количества воды. Воздействие на окружающую среду в процессе эксплуатации водозабора предполагается минимальным.

В результате подготовительных, полевых и камеральных работ, выполненных на исследуемой площади, доказано, что

- в результате эксплуатации скважины не будет причинён вред водоносному горизонту, содержащему питьевые подземные воды;

- качество подземных вод соответствует установленным нормам в сфере законодательства о санитарно-эпидемиологической защите населения.

- при отборе подземных вод не будут затронуты интересы соседних недропользователей, что обусловлено лицензией на добычу подземных вод.

В ходе работ выполнены поставленные задачи, а именно:

1. на этапе сбора, анализа и интерпретации фоновых источников и материалов предшественников изучено и охарактеризовано геологическое строение проектного участка, в качестве целевого водоносного слоя выбран подпорожско-осташковский межморенный горизонт;
2. выполнен комплекс полевых и камеральных работ, детально изучены фильтрационные параметры перспективного водоносного подразделения;
3. дана необходимая характеристика качества и состава подземных вод;
4. выполнена оценка запасов исходя из необходимых объёмов потребления;
5. выполнен подсчёт запасов подземных вод по категории С1



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Башкатов Д.Н., Драхлис С.Л., Квашнин Г.П., Сулакшин С.С. Справочник по бурению скважин на воду. - М.: Недра, 1979. – 560 с.
2. Бискэ Ю.С. Геология России. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2019. – 228 с.
3. Боганик Г.Н., Гурвич И.И.. Сейсморазведка. – Тверь: Изд-во АИС, 2006. – 744 с.
4. Боровский Б.В., Дробноход Н.И., Язвин Л.С. Оценка запасов подземных вод. - Киев: Головное издательство издательского объединения, 1989. – 407 с.
5. Временное положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (подземные воды).. - М.: АОЗТ "ГИДЭК", 1998. / Законы, кодексы и нормативно-правовые акты РФ. Код доступа: <https://legalacts.ru/doc/vremennoe-polozhenie-o-porjadke-provedenija-geologorazvedochnykh-rabot-po-etapam/>. Дата обращения - 01.03.2020.
6. Гавич И.К., Лучшева А.А., Семенова-Ерофеева С.М. Сборник задач по общей гидрогеологии: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд. - М.: Недра, 1985. - 412 с.
7. Гидрогеология СССР. III том. Ленинградская, Псковская и Новгородская области / Под ред. А.В. Сидоренко. - М.: Недра, 1967. – 325 с.
8. Гидрогеология СССР. Сводный том в пяти выпусках. Выпуск 3. Ресурсы подземных вод СССР и перспективы их использования.; Под редакцией Л.С. Язвина. - М.: Недра, 1977. – 279 с.
9. Гольдберг В.М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984. – 262 с.
10. ГОСТ 2761-84 Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора (с Изменением N 1). - М.: ФГУП "Стандартинформ", 2010. / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Код доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003220>. Дата обращения - 01.03.2020.
11. ГОСТ 21.302-96. Система проектной документации для строительства (СПДС). Условные графические обозначения в документации по инженерно-геологическим изысканиям. М.: ГП ЦНС, 1996. / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Код доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003351>. Дата обращения - 01.03.2020.
12. ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Стандартинформ, 2019. / Электронный фонд правовой и нормативно-технической

документации. Код доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200097520>. Дата обращения - 01.03.2020.

13. Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Котюков П.В., Шидловская А.В. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга // Развитие городов и геотехническое строительство. - 2011. - №1. - С. 1-47.

14. Закон РФ «О недрах (в редакции Федерального закона от 3 марта 1995 года N 27-ФЗ) (с изменениями на 27 декабря 2019 года) (редакция, действующая с 3 февраля 2020 года). / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Код доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9003403>. Дата обращения - 01.03.2020.

15. Карта четвертичных образований масштаба 1:2 500 000 территории Российской Федерации. Пояснительная записка. 2010. (Минприроды России, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ», ФГУП «ВНИИОкеангеология»). / Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского. Код доступа: <https://vsegei.ru/ru/info/quaternary-2500/>. Дата обращения - 01.03.2020.

16. Краткий справочник по проектированию и бурению скважин на воду / Б. Н. Солонин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1983. - 107 с.

17. Михайлов Л.Е., Бродская Н.А. Гидрогеология. Учебник. – Спб.: изд. РГГМУ, 2003. – 410 с.

18. Об утверждении Классификации запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных вод. Приказ МПР РФ от 30 июля 2007 г. № 195 / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Код доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902057116>. Дата обращения - 01.03.2020.

19. Объяснительная записка к листам О-35 – Псков, (N35), О -36 – Санкт-Петербург Геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (третье поколение). Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012, 510 с. + 18 вкл. / "Геологическая библиотека GeoKniga". Код доступа: <http://www.geokniga.org/sites/geokniga/files/mapcomments/o-35-pskov-n-35-o-36-sankt-peterburg-gosudarstvennaya-geologicheskaya-karta-ro.pdf>. Дата обращения - 01.03.2020.

20. Объяснительная записка к листу О-35-V. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Москва, 1980, 107 с.

21. Плотников Н.И. Поиски и разведка пресных подземных вод. - М.: Недра, 1985. - 370 с.

22. Подземные воды СССР. Обзор подземных вод Ленинградской области за 1960-1980 гг. Москва, 1988.

23. Правила безопасности при ГРП. - Под ред. В.П. Бибилурова. - М.: Недра, 1991. - 249 с.
24. Правила пожарной безопасности при ГРП. ППБО-93. - С-Пб., 1994.
25. Правила безопасности при ГРП (изменения и дополнения). ПБ-08-37-93. С-Пб., 1994.
26. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии / ВНИИ гидрогеологии и инж. геологии; [Сост. Т. Майкут и др.]; Под ред. Н.Н. Горяинова. - М.: Недра, 1992. - 259 с.
27. Пугач С.Л., Кокорева С.В., Кочерина Н.В., и др. Гидрогеологическое доизучение масштаба 1:200 000 листов О-35-V (Нарвская площадь), N-37-XIII (Калуга), N-37-XXXI (Малоархангельск), L-53-XXVI (Кировский), L-53-XXV, L-53-XXXI (Ханкайский) в 2016 году. Москва, 2016. (Росгеолфонд №524719).
28. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод. Изд. 3-е, переработ. и доп. - М.: изд-во «Недра», 1970. - 488 с.
29. Сайт ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [<http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=2>].
30. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения». М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2001. / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Код доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901798042#>. Дата обращения - 12.03.2020.
31. СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения». М.: Министерство здравоохранения РФ, 2002. / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Код доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901816579>. Дата обращения - 12.03.2020.
32. Скибина Л.Б. и др. Информационный отчет о фактически выполненных работах по составлению и подготовке к изданию комплектов Государственных карт геологического содержания масштаба 1:200 000 нового поколения (листы О-35-V, О-35-VI, О-35-X, XI). Книга 2. Объяснительная записка к подготовленному изданию листу О-35-V. СПб, ФГУП «ПКГЭ», 2002 г. (Росгеолфонд №479087)
33. СП 11-108-98 «Изыскания источников водоснабжения на базе подземных вод». М.: ПНИИИС Госстроя России, 1998 / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Код доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200005202>. Дата обращения - 12.03.2020.

34. СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. М.: Стандартиформ, 2017 / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Код доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456045544>. Дата обращения - 10.03.2020.

35. СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ». М.: ПНИИИС Госстроя России, 1997 / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Код доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200000255>.

36. Шебеста Е.А. и др. Отчет о проведении работ по объекту «Создание современной гидрогеологической карты Ленинградского артезианского бассейна масштаба 1:500 000 с выявлением условий локализации питьевых подземных вод, различных по защищенности водоносных горизонтов и качеству вод». 5 Книг и 1 Папка. СПб, ГП ПКГЭ МПР России, 2007. (Росгеолфонд №490650)

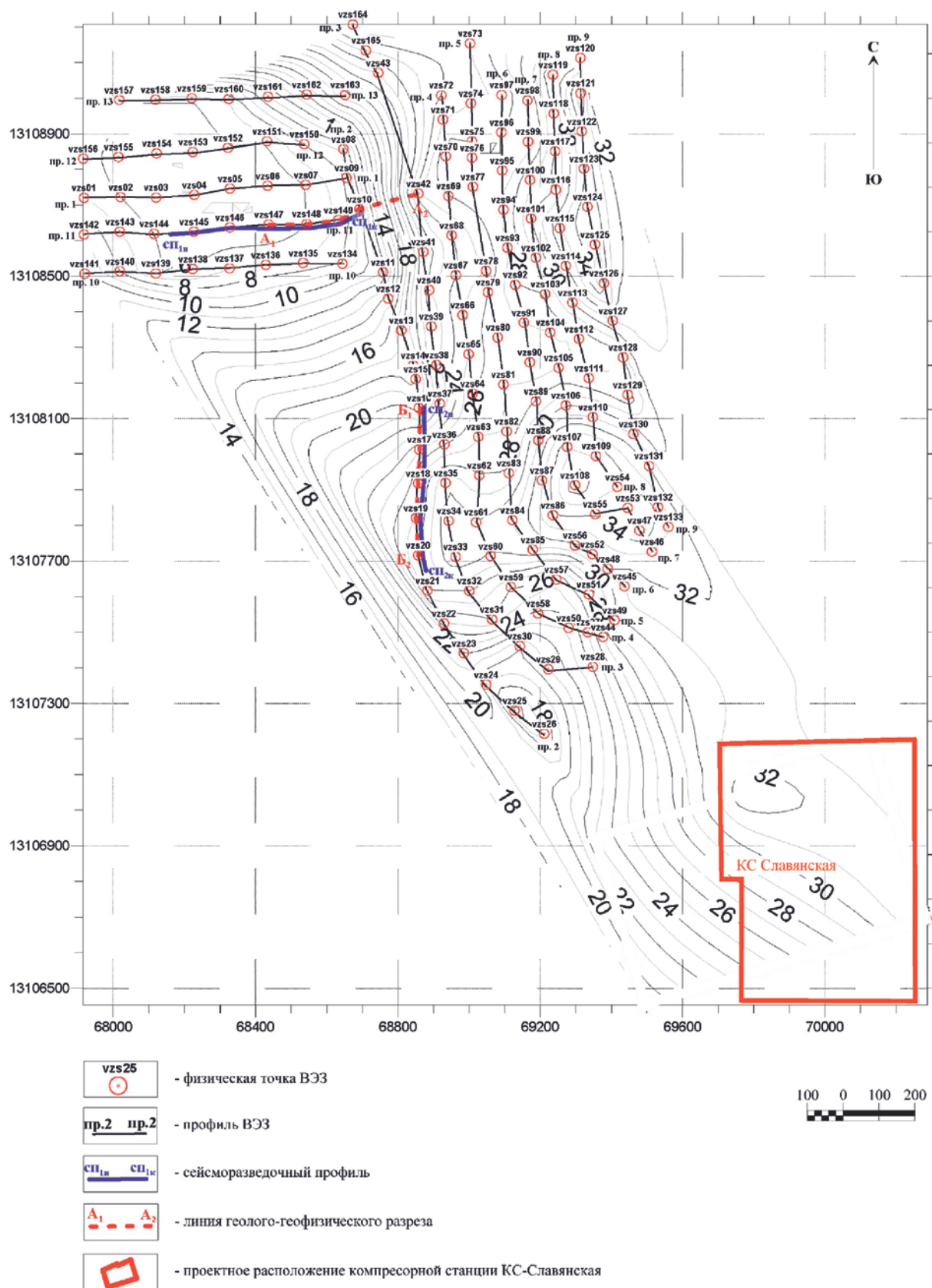
37. Шестаков В.М., Башкатов Д.Н. Опыт-фильтрационные работы. - М.: Недра, 1974. – 204 с.

38. Штенгелов Р.С. Курс лекций (конспект) «Поиски и разведка подземных вод» (для студентов кафедры гидрогеологии геологического факультета МГУ им.М.В. Ломоносова), 2015. - 24 с.

39. Инструкция по электроразведке: Утв. М-вом геологии СССР 24.12.81. – Л: Недра: Ленингр. отд-ние, 1984г. – 352 с.

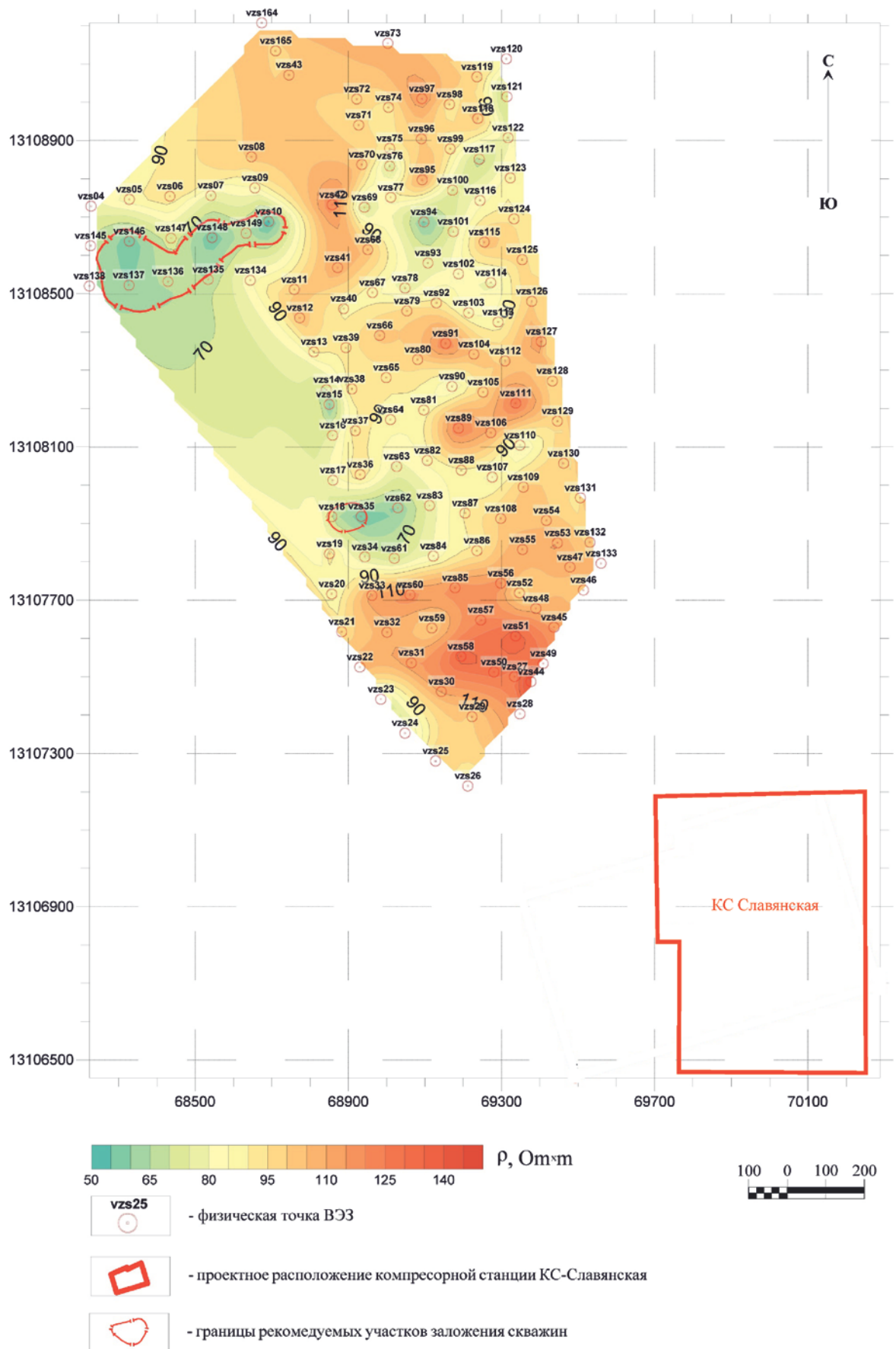
40. Электроразведка: В 2 кн. / Под ред. В. К. Хмелевского, В. М. Бондаренко. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1989. - 377 с.

## Карта фактического материала геофизических работ



## Приложение 2

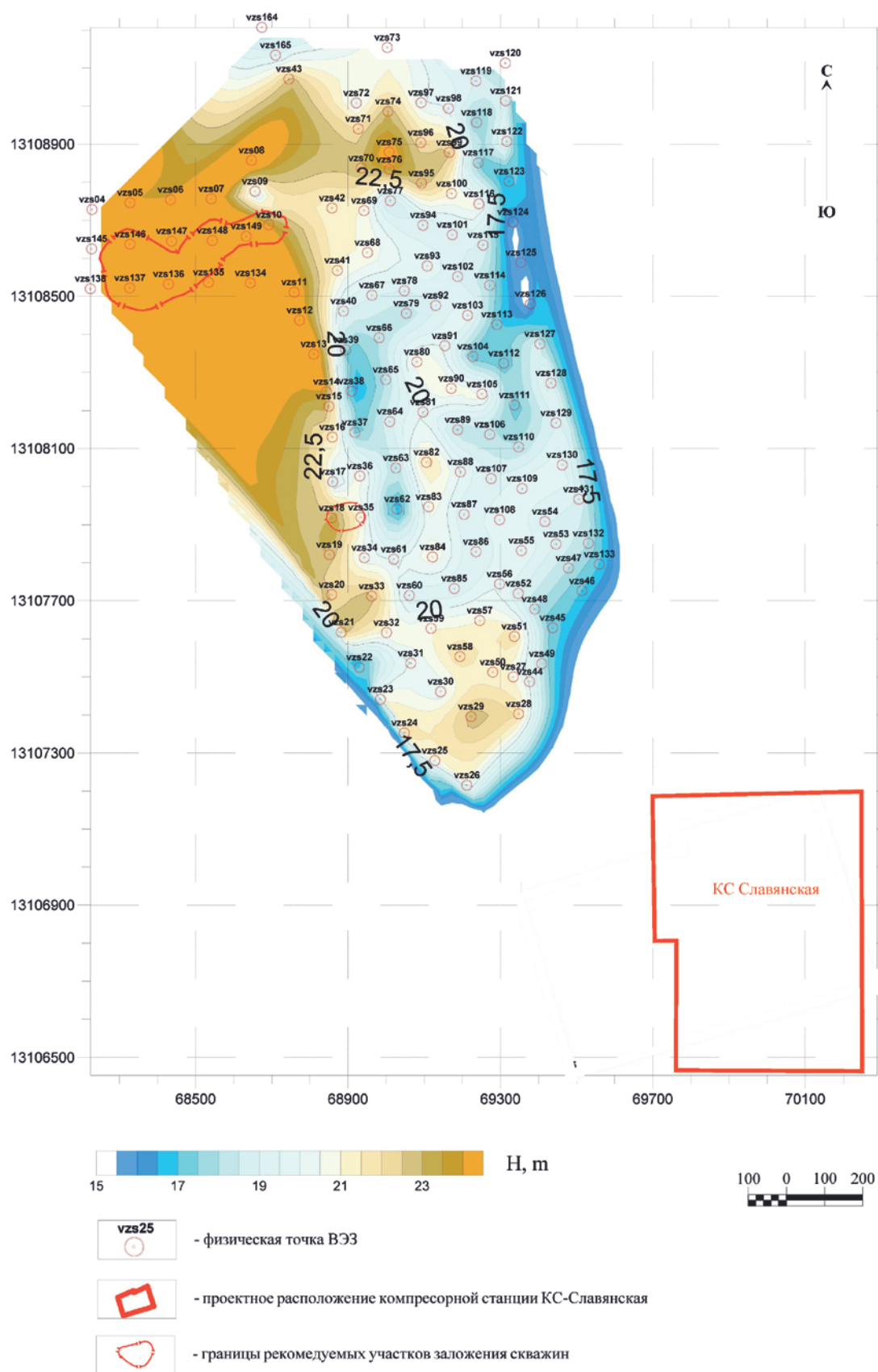
Карта распределения сопротивлений межморенного горизонта





## Приложение 3

Карта распределения мощности межморенного горизонта



## Приложение 4

## Псевдо и геоэлектрический разрезы по профилю 3

